

Aus dem Institut für Rechtsmedizin  
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Vorstand: Prof. Dr. med. W. Eisenmenger

**Gesundheitliche Beschwerden im Kopf-Hals-Bereich  
nach Auffahrunfällen im niedrigen  
Geschwindigkeitsbereich –  
eine Feldstudie**

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von  
Alexander von Meyer  
aus  
München

2002

**Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München**

Berichtersteller: Prof. Dr. rer. nat. G. Beier

Mitberichtersteller: Prof. Dr. A. Staube  
Prof. Dr. P. Kröling

Dekan: Prof. Dr. med. Dr. h.c. K. Peter

Tag der mündlichen Prüfung: 18.04.2002

Meinen Eltern  
und  
meinem Freund Andi

## **Gesundheitliche Beschwerden im Kopf-Hals-Bereich nach Auffahrunfällen im niedrigen Geschwindigkeitsbereich – eine Feldstudie**

1 Einleitung	1
2 Ausgewählte Literatur zum sog. Schleudertrauma der Halswirbelsäule	4
2.1 Einteilungen der Beschwerden	4
2.1.1 Einteilung nach Erdmann	4
2.1.2 Einteilung nach QTF	5
2.2 Ergebnisse experimenteller Studien	7
2.2.1 Versuchsaufbau	7
2.2.2 Beschwerden der Probanden	10
2.2.3 Alter, Geschlecht	11
2.2.4 Geschwindigkeitsänderung $\Delta v$	12
2.2.5 Stoßerwartung	12
2.2.6 Kopfstütze und Sitze	13
2.2.7 Sitzposition	14
2.2.8 Kinematik	14
2.3 Übersicht der Feldstudien	16
2.3.1 Roemer	16
2.3.2 Otte et al.	17
2.3.3 Temming et al.	20
2.3.4 Ryan et al.	21
2.3.5 Minton et al.	23
2.3.6 <b>Quebec Task Force (QTF)</b>	24
2.3.7 Hell et al.	26
2.3.8 Münker et al.	27
2.3.9 Krafft	27
2.3.10 Großer und Fürbeth	28
2.3.11 Zusammenfassung	30
3 Untersuchungsmaterial und Datenerhebung	31
3.1 Materialauswahl	31
3.2 Erhobene Daten	31
3.2.1 Gestoßenes Fahrzeug	31
3.2.2 Stoßendes Fahrzeug	32
3.2.3 Sitzparameter	32
3.2.4 Angaben zum Unfall	34
3.2.5 Personenbezogene Daten	34



4 Berechnung der Geschwindigkeitsänderung $\Delta v$	37
4.1 Vergleich mit Crashversuchen	37
4.2 Anwendung von Energierastern	38
4.2.1 Methodik	38
4.2.2 Ergebnisse	41
4.3 Stoßsimulationsverfahren nach Sporrer et al.	43
4.3.1 Methodik	43
4.3.2 Ergebnisse	44
4.4 Realistische Geschwindigkeitsänderung	46
5 Ergebnisse	48
5.1 Geschwindigkeitsänderung $\Delta v$	48
5.1.1 Verteilung der Geschwindigkeitsänderung $\Delta v$	48
5.1.2 Kopfschmerzen und $\Delta v$	50
5.1.3 Baujahr der Fahrzeuge und $\Delta v$	50
5.1.4 Schadenssumme und $\Delta v$	51
5.2 Beschwerden der Patienten	52
5.2.1 Befunderhebung	52
5.2.2 Klassifizierung nach QTF	55
5.2.3 QTF-Klassifizierung und $\Delta v$	56
5.2.4 QTF und schmerzfreies Intervall	57
5.2.5 QTF und Kopfschmerz	57
5.2.6 QTF und horizontaler Abstand zwischen Kopf und Kopfstütze	58
5.2.7 QTF und vertikaler Abstand zwischen Kopf und Kopfstütze	58
5.2.8 QTF und die Dauer der Beschwerden	60
5.2.9 QTF und Schmerzensgeld	61
5.2.10 QTF und Fahrzeuggewicht	62
5.3 Berufskategorien	64
5.3.1 Einteilung der Berufskategorien	64
5.3.2 Berufskategorien und Dauer der Beschwerden	65
5.3.3 Berufskategorien und Dauer der Arbeitsunfähigkeit	67
5.4 Geschlecht , QTF und $\Delta v$	67
5.5 Alter, QTF, Dauer der Beschwerden und Degeneration der HWS	68
5.6 Stoßerwartung	69
5.7 Diverse Fahrzeugparameter	70
5.7.1 Baujahr und vertikaler Abstand Kopf-Kopfstütze	70
5.7.2 Baujahr und Kopfstützenhärte	72
5.7.3 Baujahr und Alter der Insassen	72

6. Diskussion	73
6.1 Dokumentation und Einteilung der Beschwerden	73
6.2 Einfluß von $\Delta v$ auf die Verletzungsschwere	75
6.3 Schmerzfreies Intervall	76
6.4 Weitere Symptome nach Heckaufprall	76
6.4.1. Kognitive Einbußen	76
6.4.2 Störung des optischen Apparates	77
6.5 Horizontaler Abstand zwischen Kopf und Kopfstütze	77
6.6 Vertikaler Abstand zwischen Kopf und Kopfstütze	78
6.7 Dauer der Beschwerden	79
6.8 Einfluß der Fahrzeuggewichte	80
6.9 Geschlecht	80
6.10 Alter	81
6.11 Stoßerwartung	81
7 Zusammenfassung	83
8 Literatur	86
Anhang	92

## 1 Einleitung

Der Heckaufprall ist bei Unfällen mit Verletzten eine der häufigsten Kollisionsrichtungen (21 % in 1992), wobei mindestens 50 % aller Unfallverletzten ein "HWS-Schleudertrauma", d.h. eine Distorsion der Halswirbelsäule (HWS) erleiden [CLAUSSEN]. Trotz dieser Tatsache ist er in früheren Zeiten in der Unfallforschung deutlich unterrepräsentiert gewesen [DEUTSCHER], was zum Teil an den leichteren Verletzungen beim Heckaufprall im Vergleich zu anderen Stoßrichtungen liegt [DEUTSCHER]. In den letzten Jahren kommt es zu einer rasanten Zunahme der den Versicherungen gemeldeten Heckaufprall-Unfälle mit Verletzungen der HWS [CLAUSSEN]. Damit hat sich der Heckaufprall zu einem internationalen Problem entwickelt. In Deutschland fließt im Jahr eine Summe von ca. 2 Mrd. DM (1990) in die Entschädigung von Unfallopfern nach Heckaufprall-Unfällen [HELL]. Aus diesen Gründen nimmt das Interesse an diesem Unfalltyp stetig zu.

Bei diesen Unfällen soll es häufiger zu einem Beschwerdebild kommen, das als „Schleudertrauma“ der Halswirbelsäule, HWS-Distorsion, Beschleunigungsverletzung der Halswirbelsäule oder „Whiplash Associated Disorder“ (WAD) bezeichnet wird. Das "HWS-Schleudertrauma" nach Heckaufprall ist ein in vieler Hinsicht strittiges Thema: Dies beginnt bereits bei der Benennung; es betrifft aber auch die Diagnostik, die Therapie, die für die Beschwerden verantwortlichen Verletzungen, deren Entstehungsmechanismus und schließlich die Verträglichkeits- und Toleranzgrenzen. Der bereits 1928 von Crowe geprägte und 1953 von Gay und Abbott wiederentdeckte Begriff "whiplash" soll den Bewegungsablauf des Kopfes gegenüber dem Rumpf bei frei beweglichem Kopf und beschleunigtem Thorax beschreiben, und "whiplash-injury" den daraus resultierenden Beschwerdenkomplex. Es erscheint interessant aufzulisten, was die Autoren (Neurologe und Neurochirurg) bei 50 untersuchten Fällen als gemeinsame Charakteristika feststellten:

1. Gleicher Unfallmechanismus
2. Keine äußeren Verletzungen in der eigentlichen Verletzungsregion
3. Keine Beteiligung knöcherner Elemente der HWS
4. Zeitdauer der Beschwerden länger als bei Distorsionen üblich
5. Klinisches Bild in der Nachperiode wurde offensichtlich von psychoneurotischen Reaktionen mitgeprägt. Die Verfasser beobachteten, daß die "abnorme seelische Verarbeitung" sich durch Aufklärung und psychotherapeutische Führung positiv beeinflussen ließ, ja bisweilen ganz vermeidbar war.

Im englischen Sprachgebrauch hat sich die Bezeichnung "whiplash-injury", obgleich oft kritisiert, bis heute als terminus technicus erhalten. Exakter wird heute von "Whiplash Associated Disorders" gesprochen, abgekürzt "WAD".

Dem gegenüber beobachtet man in Deutschland eine breit angelegte Diskussion über einen passenden Begriff für das gleiche Phänomen. Im sog. Konsenspapier unter der Federführung von MOORAHREND wurde die Bezeichnung "Beschleunigungsverletzung der HWS" geprägt. Andere oft verwendete Begriffe sind HWS-Distorsion, Schleudertrauma und WAD.

Mit der Problematik der Verletzungen nach Heckaufprall befassen sich mittlerweile annähernd tausend Veröffentlichungen und mehr als ein Dutzend Bücher bzw. Monographien. Auch auf Tagungen der verschiedensten medizinischen Fachrichtungen, der Unfallforscher und Automobilhersteller, wie Stapp Car Crash Conference, IRCOBI (International Research Council on the Biomechanics of Impact) und SAE (Society of Automotive Engineering), und der Juristen, wie auf dem Verkehrsgerichtstag in Goslar 1994, wird dieses Problem thematisiert.

Bei der Begutachtung derartiger Beschwerden werden Ärzte immer wieder vor das Problem gestellt, daß es in den meisten Fällen keine morphologisch nachweisbare Verletzung gibt. Dadurch kommt es immer wieder zu unterschiedlicher Beurteilung der Beschwerden durch verschiedene Ärzte, wobei es offenbar eine Rolle spielt, ob der Begutachtende selbst bereits eine derartige Verletzung erlitten hatte oder nicht [MAXEINER]. Auch der Vorwurf der Simulation derartiger Beschwerden taucht wegen nachvollziehbarer wirtschaftlicher Interessen der Betroffenen immer wieder auf. Bereits 1956 bemerkte GOTTEN hierzu: "The fact, that the symptoms do not adjust to treatment or they at times would even get worse, but improved after settlement of claims, casts doubt in our minds of the validity of the symptoms and rendered proper opinion by the physicians next to impossible."

Bei der medizinischen Begutachtung derartiger Verletzungen nach Heckaufprall stellen sich folgende zwei Konstellationen dar:

1. Nach einem nachweislichen Heckaufprall mit Unfallschaden und initialen Beschwerden lassen sich die Langzeitfolgen nicht ohne weiteres in Zusammenhang mit dem Unfallereignis bringen. In diesem Fall ist ein Gutachten von orthopädischer, neurologischer oder psychiatrischer Seite erforderlich.
2. Nach einem leichten oder gar fraglichen Heckaufprall mit geringer biomechanischer Belastung lassen sich die angegebenen Beschwerden nicht ohne weiteres durch das stattgefundene Trauma erklären. In diesem Fall ist eine verletzungsmechanische Begutachtung erforderlich.

Bei der Begutachtung stellen sich zwei Probleme dar:

1. Die Begutachtung muß sich auf die vom behandelnden Arzt erhobenen Befunde stützen.
2. Wo liegen die biomechanischen Toleranzgrenzen, d.h. ab welcher Unfallschwere muß mit einem Auftreten von HWS-Beschwerden gerechnet werden?

Beim derzeitigen Wissensstand wird als Maß für die Höhe der mechanischen Belastung, als „technischer Input“, allgemein die Geschwindigkeitsänderung ( $\Delta v$ ) herangezogen.

Zur Belastungsgrenze gibt es eine Reihe experimenteller Arbeiten (siehe Kapitel 2.2). Entsprechende Feldstudien, die sich ausschließlich mit dem Heckaufprall beschäftigen und Unfallschwere und Verletzung korrelieren, gibt es dahingegen nur vereinzelt (z.B. HELL ET AL.). Eine hinreichende Validierung der experimentellen Studien steht noch aus. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, prospektiv Unfälle zu untersuchen, bei denen nach einem Heckaufprall über Beschwerden im Bereich der Halswirbelsäule geklagt wurde und in den meisten Fällen ein Arzt bzw. ein Krankenhaus aufgesucht wurde. Dabei ist das Augenmerk besonders auf folgende Fragen gerichtet:

1. Welche Befunde werden im Krankenhaus in der Realität erhoben ?
2. Welche Unfallschwere kommt in der Realität bei derartigen Verletzungen der HWS in Frage?

## **2 Ausgewählte Literatur zum sog. Schleudertrauma der Halswirbelsäule**

### **2.1 Einteilungen der Beschwerden**

#### **2.1.1 Einteilung nach Erdmann**

H. ERDMANN untersuchte 183 Fälle, bei denen nach einem Unfall eine Verletzung der HWS vorlag bzw. behauptet wurde und die ihm in den Jahren 1963 bis 1970 zur Begutachtung kamen.

Unter den 183 Verkehrsteilnehmern, die diesen Unfall als Begründung ihrer Rentenansprüche geltend machten, befanden sich 88 Fälle mit eindeutigen Auffahrunfällen.

Er beobachtete bei 28 Fällen ( 32%) direkt nach dem Unfall keine Schmerzsymptomatik, die sich aber in den meisten Fällen nach einem schmerzfreien Intervall von bis zu 16 Stunden noch bis zum „Vollbild“ entwickelte. Über dieses Intervall muß seiner Meinung nach klar gestellt werden: „1. Die Kurzfristigkeit dieses Intervalls; 2. die innere Beziehung zwischen dem Auftreten des Intervalls und dem Schweregrad der zugrunde liegenden Verletzungsform“.

Bei der Einstufung des Röntgenergebnisses unterteilt er in primäre und sekundäre (erst nach 3 - 6 Wochen zu erkennende) Merkmale. Im Röntgenbild sind für Erdmann nur direkte und indirekte Beurteilungsmerkmale, die eindeutig auf eine Verletzung schließen lassen, zulässig. Im Gegensatz hierzu stehen Merkmale, die nicht eindeutiger Herkunft sind, wie z.B. die viel genannte Steilstellung der HWS, „weil sie gegebenenfalls als Normabweichung imponieren - die nichtsdestoweniger aber doch nicht geeignet sind, als Verletzungsmerkmale Verwendung zu finden.“

Erdmann unterteilt die Verletzung in eine leichte Form (Grad 1) eine schwere Form (Grad 3) und eine intermediäre Form (Grad 2) (siehe Tabelle 2.1). Nach dieser Tabelle ist der in der Realität häufigste Fall mit vorhandenem Intervall und unauffälliger Röntgenbild als leichte Verletzung (Schweregrad 1) zu werten.

Symptome:	Schweregrad I	Schweregrad II	Schweregrad III
a) Annähernd schmerzfreies Intervall	häufig vorhanden (12–16 Stunden)	seltener vorhanden (4–8 Stunden)	nicht vorhanden
b) Schluckschmerzen, Schmerzen i. Mundbodenbereich oder in den Rectusmuskeln des Halses	selten (3–4 Tage lang)	häufig (3–4 Tage lang)	?
c) Totale Haltungsinsuffizienz der Kopfhaltmuskulatur	nicht vorhanden	fehlt als Sofortphänomen; bisweilen nachträglich	als Sofortphänomen immer vorhanden
d) «Steifer Hals» bzw. schmerzhafte Bewegungseinschränkung für Kopf und Hals, tastbar bei manueller Prüfung	häufig, meist erst als Sekundärsymptom, Dauer 1–2 Wochen	meist vorhanden, meist als Primärphänomen, seltener nach Intervall	immer vorhanden, Dauer länger als 2 Monate
e) Schmerzen paravertebral zwischen den Schulterblättern («Kralle»)	gelegentlich (bei etwa 15%)	häufiger (bei etwa 30%)	?
f) Primäre Parästhesien in den Händen, gelegentlich auch den Unterarmen	selten	häufiger, aber meist ohne motorische Lähmungen	?
g) Positive Verletzungsmerkmale im Röntgenbild der HWS			
1. primäre	fehlen	fehlen	vorhanden
2. sekundäre (nach 3–6 Wochen)	fehlen	bisweilen vorhanden	vorhanden
h) Prostration, Bettlägerigkeit	fehlt oft (meist nur 2–3 Tage)	meist vorhanden (ca. 10–14 Tage)	immer vorhanden (4–6 Wochen)
i) Dauer der unfallbedingten Arbeitsunfähigkeit	1–3 Wochen (fehlt gelegentlich ganz)	2–4 Wochen	über 6 Wochen

Tab 2.1: Einteilung der HWS-Beschwerden nach ERDMANN

### 2.1.2 Einteilung nach QTF

Die Quebec Task Force (QTF) unter dem Vorsitz von W. SPITZER suchte im Jahr 1994 durch Zusammenfassung vieler Studien zu diesem Thema einen Konsens bezüglich Diagnostik, Einteilung und Therapie zu finden.

Die QTF kritisiert die Verwendung unterschiedlicher Materialien für Kopfstütze und Rückenlehne, wodurch die cervicale Extension verstärkt wird. Als Verbesserung werden Integralsitze vorgeschlagen, bei denen Sitz und Kopfstütze in einem Stück und aus dem gleichen Material hergestellt werden. Der Sicherheitsgurt kann ein Risiko für eine HWS-Verletzung implementieren. Zur Pathophysiologie der WAD unterteilt die QTF in 3 Perioden: eine Periode der akuten Entzündung und Reaktion (bis zu 72 Stunden), eine Periode der Reparatur und Regeneration (bis zu 6 Wochen), wobei bei neurologischen Schäden eine längere Dauer zu berücksichtigen ist, und eine Periode der Wiederherstellung (bis zu 1 Jahr). Ausgehend von diesem Modell ist es vernünftig, eine Heilungsdauer für die WAD von 4 - 6 Wochen anzunehmen, wenn es zu Zerreißungen von Weichteilgewebe gekommen ist.

Als Definition der WAD übernahm die QTF folgenden Text: „ *Whiplash is an acceleration-deceleration mechanism of energy transfer to the neck. It may result from rearend or side-impact motor vehicle collisions, but can also occur during diving or other mishaps. The impact may result in bony or softtissue injuries (whiplash injury), which in turn may lead to a variety of clinical manifestations (Whiplash Associated Disorders).*“

Als Klassifikation der Verletzungsschwere schlägt die QTF folgende Tabelle vor:

<b>Die Quebec Task Force – Klassifikation der Whiplash Associated Disorders (WAD)</b>	
-----	
-	
Grad 0:	Keine Beschwerden im Bereich der HWS Keine klinischen Zeichen
Grad 1:	Beschwerden im Bereich der HWS, wie Schmerz und Steifheitsgefühl Keine klinischen Zeichen
Grad 2:	Beschwerden im Bereich der HWS Muskuloskeletale Zeichen, wie Einschränkung der Beweglichkeit, Druckschmerz oder Hartspann
Grad 3:	Beschwerden im Bereich der HWS Neurologische Zeichen, wie Nichtvorhandensein oder Abschwächung

Tab. 2.2: Einteilung der HWS-Beschwerden nach QTF [SPITZER]



## 2.2 Ergebnisse experimenteller Studien

Zum Zwecke der Untersuchung der Insassen-Kinematik bei Auffahrunfällen und potentieller Einflußfaktoren werden seit 1955 (Severy) viele experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Tabelle 2.2 gibt eine Übersicht der hier behandelten experimentellen Studien. Hierzu wurden entweder Auffahrunfälle mit realen Fahrzeugen und Autoscootern oder Schlittenversuche durchgeführt. In beiden Fällen wurden sowohl Freiwillige als auch Leichen (PMTO = Post Mortale Test Objekte) als Insassen eingesetzt. Als Maß für die verletzungsmechanisch relevante Schwere des Aufpralls wird die Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v$  verwendet. Da bei Freiwilligen jede Gefährdung für die Personen ausgeschlossen werden muß, werden derartige Versuche mit Bedingungen geplant, bei denen man davon ausgeht, daß keine Verletzungen entstehen. Der Grenzwert für die Belastung beträgt je nach Autor bis zu 14,2 km/h Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v$  [MEYER ET AL., 1997]. Bei fast allen Versuchen werden die Beschwerden der Probanden protokolliert. Mit Ausnahme von ONO ET AL. (1997, 1998) wurden alle Studien mit Kopfstützen durchgeführt. Im Gegensatz zu den PKW-PKW-Versuchen kommt es bei Schlittenversuchen ohne Kopfstütze und bei Autoscooterversuchen zu einer größeren Hyperextension der HWS und durch den fehlenden Anschlag an die Kopfstütze zu geringeren Spitzenbeschleunigungen des Kopfes [MEYER ET AL., 1997]. Auf Grund der schlechten Vergleichbarkeit der Kinematik von Autoscooter-crashes mit PKW-crashes sollen erstere hier nicht weiter behandelt werden.

### 2.2.1 Versuchsaufbau

In Bezug auf den Versuchsaufbau kann man nicht nur zwischen PKW- und Schlittenversuchen unterscheiden. Auch innerhalb der Schlittenversuche sind wichtige testspezifische Unterschiede festzuhalten. So verwenden GEIGL ET AL. und EICHBERGER ET AL. einen auf Schienen rollenden, von einem Elektromotor angetriebenen Schlitten, der durch ein einstellbares Druckluft-Bremssystem abgebremst wird. Dadurch können definierte Bremscharakteristiken des Schlitten bis zu einer theoretischen Beschleunigung von 500 m/s<sup>2</sup> geschaffen werden. Bei den von MATSUSHITA ET AL. durchgeführten Tests wurde ein 100 kg schwerer,

Autoren	Jahr	Ver- suchs- zahl	Pro ban- den (m/w)	Alter der Pro- banden [Jahre]	$\Delta v$ [ km/h]	Be- schleu- nigung	KFZ/ Schlit- ten	Bemerkungen	Beschwerden
Deutscher	1994	8	8	18-28,38,45	8,5-12,4	10-14 g	KFZ		k.A.
Hein		79			11,13, 15		Schlitten	PKW-gleiche Beschleunigungsprofile, mit Kopfstützen	19x leichter Anprallschmerz am Kopf
								unterschiedliche Sitze u. Lehnen	2x leichter Schmerz im Nacken
								(weich,mittel,hart,spezial)	7x leichter Schmerz am Rücken
		8			11		Schlitten	PKW-gleiche Beschleunigungsprofile, seitliche Kopfdrehung	5x leichtes Schwindelgefühl, alle max. 24h Dauer
Eichberger	1996	34			8-	2,5 g	Schlitten	9 verschiedene Sitze	Einige leichte Nackenschmerzen, Dauer bis 24 h
					11	Sitz		PKW-gleiche Beschleunigungsprofile	1 x Hws - Symptomatik für 2 Wochen
Geigl	1994	37	37		12	2-8 g	Schlitten	PKW-gleiche Beschleunigungsprofile (UDS), Golf II - Sitze	keine
Matsushita	1994	18	26 ( 22/4)	22-61	2,5-5	2,7-6,3 g	Schlitten	3 verschiedene Sitze (versch. Härte) zusätzl. 4 frontale u. 3 seitliche	6x leichte Beschwerden, alle max. 4 Tage Dauer (v.a. Nackenschmerzen am Morgen nach Test)
Mc Conell	1993	10	4	45-56	3-8	3-6 g	KFZ	3-7 Front u. Hecktest pro Proband	<b>P1:</b> 2h Nackenschmerzen (Sl:1h)
								<b>Proband 1 (P1):</b> 2F/2H, <b>P2:</b> 3F/4H,	<b>P2:</b> Nackenschmerzen am Morgen nach 6 Tests, max. 5 h Dauer
								<b>P3:</b> 1F/2H, <b>P4:</b> 4 F/2H	<b>P3:</b> Nackenschmerzen am Morgen nach 3Tests, 1 Tag Dauer,
									leichter Schmerz im Rücken, 3 Tage Dauer
									<b>P4:</b> keine
Mc Conell	1995	14	7 (7/0)	32-59	5,8-10,9	5-15 g	KFZ	Dodge 600 '86, Buick Regal '84 teilw.mit Beifahrer	Kopfschmerzen und Muskelverspannungen Dauer: max 4 Tage
Meyer	1997	20	19 (14/5)	26-47	8,3-14,2		KFZ + Scooter	17 PKW und 3 Scooter Heckkollisionen VW Golf II / Opel Kadett E Caravan Opel Record E / DB W124 T (Bj. 84 - 88)	4 x initiale Beschw. ( $\Delta v$ 11,4-14,2 km/h) Nach 3 Wochen 1 x Beschwerden
Nielsen	1997	23	7 (7/0)	32 -55	1,7-9,0		KFZ	Gestoßene KFZ: Ford E250 Van '93, Mazda B2200 '89 Jeep Cherokee '88, Toyota Pickup '81	2 x initiale Beschw. (1 KS, 1 HWS) Dauer: 4 h , bzw. wenige min

Tab. 2.2.: Zusammenstellung der experimentellen Studien (  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  )

Autoren	Jahr	Ver- suchs- zahl	Pro ban- den (m/w)	Alter der Pro- banden [Jahre]	$\Delta v$ [ km/h]	Be- schleu- nigung	KFZ/ Schlit- ten	Bemerkungen	Beschwerden
Ono	1997	17	12 (12/0)	~ 24	4-8		Schlitten	ohne Kopfstützen / 4 Versuchsserien I. Bewegung / II. Muskelspannung III. Kopf-Hals-Position / IV. versch. Lehnenhärten	1x Nackenschmerzen am nächsten Tag kurze Dauer (Tage)
Ono	1998	18	6 (6/0)	23	4, 6, 8		Schlitten	Ohne Kopfstütze / 2 versch. Lehnenhärten Bewegung + Röntgen / Muskelspannung	k.A.
Ono		12	3 (3/0)	22-43	2, 3, 4		Schlitten	Unterschiedliche Kopfstützenhöhen und Lehnenneigung / Einfluß des Muskeltonus	k.A.
Siegmund	1997	42	42 (21/21)	20-40	4	1,6-5 g	KFZ	1990 Honda Akkord	k.A.
		39	39 (20/19)	20-40	8	6,7-12 g	KFZ	1990 Honda Akkord	k.A.
Szabo	1994	6	5 (3/2)	27-58	8	10-14 g	KFZ	1981/82 Ford Escort	4x vorübergehende Kopfschmerzen 1x Nackensteifigkeit am Morgen

Tab. 2.2 : Zusammenstellung der experimentellen Studien

rollender Schlitten verwendet, der von einer Schwungmasse mit 150 kg angestoßen wurde. Durch entsprechende Polsterung der Schwungmasse und der getroffenen Fläche am Schlitten wird die Stoßcharakteristik eines PKW-Unfalles eingestellt.

ONO ET AL. [1993, 1997, 1998] verwenden bei ihren Experimenten einen Schlitten, der auf einer schiefen Ebene mit 4 m Länge und 10° Neigung läuft und durch eine Feder (1993) oder einen Öldämpfer (1997/98) abgebremst wird. Die Dämpfungscharakteristik ist auf einen realen Autounfall abgestimmt.

Bei den meisten Schlittenversuchen werden die entstehenden Beschleunigungen des Schlittens, bzw. des Sitzes mit denen aus realen Autoheckaufprall-Unfällen, die u.a. mit Unfalldatenschreibern gewonnen wurden, verglichen.

Auf derartige Schlittenkonstruktionen werden handelsübliche Fahrzeugsitze oder von der Forschungsgruppe optimierte Sitze montiert.

## 2.2.2 Beschwerden der Probanden

Bei den angegebenen Beschwerden handelt es sich einerseits um initiale Schmerzen wie Anprall- bzw. Kopfschmerzen [HEIN, MC CONNELL ET AL. 1995, SZABO ET AL.], andererseits um Schmerzen und Verspannungen im Hals und Rücken, die auch erst nach einem schmerzfreien Intervall, das bis zu mehreren Stunden dauern kann, auftreten können [MATSUSHITA ET AL., MEYER ET AL. 1997, ONO ET AL. 1997]. Bei einigen Probanden traten die Schmerzen auch erst am nächsten Morgen auf [MATSUSHITA ET AL., ONO ET AL. 1997, SZABO ET AL.], was mit der nächtlichen Entspannung der Muskulatur erklärt wird. Hierbei fällt auf, daß bis auf einen Fall ( $\Delta v = 14,2 \text{ km/h}$ ) die angegebenen Beschwerden nie länger als 4 Tage [MATSUSHITA ET AL., MC CONNELL ET AL. 1993] dauerten, bei einigen Versuchen sogar überhaupt keine Beschwerden auftraten ( $\Delta v = 12 \text{ km/h}$ ) [GEIG ET AL.]. Bei NIELSEN ET AL. und MC CONNELL ET AL. (1993) wurden die Probanden mehreren Tests an einem Tag ausgesetzt, wodurch die angegebenen Beschwerden sich nicht in die Realität übertragen lassen. Durch keine der Beschwerden war die Arbeitsfähigkeit der Probanden eingeschränkt. Leider lassen sich nicht alle Studien bezüglich der entstandenen Beschwerden vergleichen, da das Hauptaugenmerk einiger Studien (z.B. ONO ET AL.) der Kopf-Hals-Kinematik galt, wobei die klinische Symptomatik nicht oder nur unzureichend mitgeteilt wird.

### 2.2.3 Alter, Geschlecht

Das Alter der Probanden der verschiedenen Studien liegt je nach Rekrutierung zwischen 18 Jahren [DEUTSCHER ET AL., HEIN, 1994] und 61 Jahren bei MATSUSHITA ET AL. [1994]. Die Studien mit jüngeren Probanden rekrutierten diese hauptsächlich durch Inserate in Zeitungen und an Universitäten [SIEGMUND ET AL.], die Teilnehmer an Studien mit einem höheren Altersdurchschnitt stammen oft aus dem Personal der Forschungsgruppe (McCONNELL ET AL. 1995).

Bei der Studie von MATSUSHITA ET AL. war ein breites Altersspektrum der Probanden von 22-61 Jahren (Durchschnitt 38,7 Jahre) vertreten. Von 26 Personen klagten sechs danach über leichte Beschwerden, wobei im  $\Delta v$ -Bereich von 2,5 - 4,2 km/h (Altersdurchschnitt 45 Jahre) nur eine männliche Person mit 59 Jahren Beschwerden angab. Im etwas höheren  $\Delta v$ -Bereich bis ca. 5 km/h (Altersdurchschnitt 34,8 Jahre), in dem fünf Personen Beschwerden angaben, lag deren Alter bei 23 - 41 Jahren (Durchschnitt 33,8 Jahre). Die vier teilnehmenden Frauen erlitten keine Verletzungen.

In der 1997er Studie von MEYER ET AL. wurden neun PKW-crashes mit  $\Delta v$  von 11,4 - 14,2 km/h durchgeführt. Vier männliche Teilnehmer ( das entspricht 44%) klagten nach Kollisionen in diesem Geschwindigkeitsbereich über initiale Beschwerden, die bei drei Personen innerhalb einer Woche verschwanden, wobei bei allen die Arbeitsfähigkeit zu keinem Zeitpunkt eingeschränkt war. Die fünf weiblichen Teilnehmer blieben beschwerdefrei.

Bei den meisten anderen Studien lassen sich aufgrund der geringen Probandenzahlen, dem geringen Frauenanteil, fehlender Darstellung der klinischen Symptomatik und/oder dem kleinen Altersspektrum keine derartigen Vergleiche anstellen.

Zusammenfassend muß festgestellt werden, daß sich durch vorliegende Studien kein eindeutiger Nachweis eines Zusammenhanges von höheren Verletzungsrisikos bzw. einer niedrigeren Verletzungsschwelle für Beschwerden und dem Alter oder dem Geschlecht ergibt.

## 2.2.4 Geschwindigkeitsänderung $\Delta v$

Unter  $\Delta v$  versteht man die Änderung der Geschwindigkeit des gestoßenen Fahrzeugs bzw. Schlittens durch den Stoß. Die Bandbreite der untersuchten  $\Delta v$ -Bereiche reicht von 2 - 4 km/h [ONO ET AL. 1993] bis zu 8,3 - 14 km/h [MEYER ET AL. 1997]. In letzterer Studie traten die Beschwerden nach Geschwindigkeitsänderungen von 11,4 - 14,2 km/h auf. Bei der Untersuchung von MATSUSHITA ET AL. kam es bereits nach einer Geschwindigkeitsänderung von 3,6 km/h zu Nackenschmerzen und anderen spezifischen Symptomen, die ohne Behandlung nach 2- 4 Tagen verschwanden. Bei NIELSEN ET AL. trat die „früheste“ Symptomatik, mit 4 Minuten Dauer, bei einem  $\Delta v$  von 7 km/h auf. In der Untersuchung von SZABO ET AL. trat bei einem  $\Delta v$  von 8 km/h bei vier von fünf Probanden ein vorübergehender Kopfschmerz und bei einem in zwei Versuchen Belasteten auch Nackensteife auf. Bei den von HEIN beschriebenen Versuchen gaben bei dem niedrigsten  $\Delta v$  von 11 km/h bereits 14 von 27 Probanden Beschwerden an, die bis zu einer Woche andauerten.

Zusammenfassend kann man sagen, daß die Studien, die mit höheren Geschwindigkeitsänderungen ( $\Delta v > 8$  km/h) arbeiteten, eine höhere Beschwerdequote aufweisen [MEYER ET AL. 1997, HEIN].

## 2.2.5 Stoßerwartung

Ein Problem aller experimentellen Studien ist die Stoßerwartung der Probanden, was immer wieder zu der Kritik an der Übertragbarkeit solcher Studien auf reale Unfälle führt. Deshalb wurde bei nahezu allen Studien darauf geachtet, daß der Proband nicht auf den kommenden Stoß vorbereitet war. Dies wurde mit Kopfhörern und Augenbinde zu erreichen versucht, wobei bei einigen Tests auch die Anspannung der Halsmuskulatur [z.B. ONO ET AL. 1997, 1998, MATSUSHITA ET AL.] durch EMG-Elektroden gemessen wurden. Den Zustand der völligen Entspannung vor dem Unfall wird man durch diese Maßnahmen nicht simulieren können, eine möglichst gute Annäherung an den realen Unfall wird man aber erreichen können. Durch eine Vorspannung der Halsmuskulatur werden die Reflexe stärker als im entspannten Zustand ausgelöst [LIEBSCH, S.3], wobei die Reflexzeit 54 - 87 ms nach FOUST ET AL., bzw. 65 ms nach MAGNUSSON ET AL. beträgt. Der Anschlag

des Kopfes an der Kopfstütze erfolgt nach verschiedenen kinematischen Beobachtungen frühestens 100 ms [GEIGL ET AL.] nach dem Stoß.

Problematisch in dieser Hinsicht sind sicherlich die Schlittenversuche zu betrachten, bei denen der Schlitten sich vor dem Stoß bewegt, da der Proband den Beginn der Bewegung registriert und hierdurch mit Sicherheit keine Entspannung der betreffenden Muskelpartien mehr zu erwarten ist. In der Studie von ONO ET AL. 1993, in der der Einfluß des Muskeltonus untersucht wurde, sind die Beschwerden der Probanden nicht veröffentlicht, wodurch ein Einfluß auf die Verletzung nicht belegbar ist.

## 2.2.6 Kopfstütze und Sitze

Um die Kinematik des Kopfes und des Halses bei Unfällen mit Heckaufprall zu untersuchen, wurden in den meisten Fällen die Probanden auf handelsübliche Sitze gesetzt. Bei den PKW-Versuchen waren es die eingebauten Seriensitze, bei den Schlittenversuchen Sitze aus einem oder mehreren PKW-Typen. Dadurch erklärt sich, daß in fast allen Fällen auch Kopfstützen zum Einsatz kamen. Um die Verletzungen der Probanden möglichst gering zu halten, wurde die Kopfstütze, wenn möglich, optimal eingestellt (Ausnahme ONO ET AL.), was aber sicher nicht dem realen Verhalten der Fahrer entspricht. Nur ONO ET AL. (1997/98) testeten ihre Probanden ohne Kopfstütze, was zu einer größeren Extension der HWS und dem Fehlen des Anschlages auf die Kopfstütze führte. Da ONO ET AL. außerdem keine Beschwerden ihrer Probanden angeben, läßt sich dieser Testmodus nicht mit den anderen Arbeiten vergleichen. Im Jahr 1993 untersuchten ONO ET AL. den Einfluß der Kopfstützenhöhe auf die Kinematik und kamen zu dem Schluß, daß der Rotationswinkel des Kopfes bei der Extension mit abnehmender Kopfstützenhöhe zunimmt.

Um den Einfluß der Sitzhärte auf die Kinematik zu erforschen, verwendeten mehrere Autoren [HEIN, MATSUSHITA ET AL., ONO ET AL. 1993/ 1997/ 1998] Sitze von unterschiedlicher Härte. ONO ET AL. stellten hierzu 1997 fest, daß die Körperbewegung allgemein und vor allem der Rebound bei weichen Sitzlehnen größer ist als bei steiferen Exemplaren. 1998 bemerkten sie, daß bei steiferen Sitzlehnen die Streckung und die axiale Kompression der Halswirbelkörper stärker ist [ONO ET AL. 1998], bei weicheren Sitzlehnen aber die Scherkräfte der oberen HWS durch den verstärkten Rebound in der späten Stoßphase zunehmen.

### 2.2.7 Sitzposition

Wie auch bei der fast immer korrekten Kopfstützeinstellung, wurde bei der Sitzposition auf eine realistische, aber im Kollisionsfall optimale Stellung geachtet. Deshalb sitzen die Probanden bei fast allen Untersuchungen aufrecht und mit normalem bis geringem Abstand zur Kopfstütze. Dagegen führten MEYER ET AL. (1999) eine Schlittenuntersuchung ( $\Delta v$ : bis 8 km/h) mit vorgelehnten Sitzpositionen (FIP = Forward Inclined Position) durch. Die Ergebnisse widersprechen scheinbar der bis dahin üblichen Meinung, daß die Verletzung mit zunehmendem Abstand zur Kopfstütze ebenfalls an Schwere zunimmt. Die Auswertung ergab jedoch, daß „bei den vorgebeugten Positionen im Gegensatz zur normalen Position ein Abrollen des Rückens an der Rückenlehne des Sitzes stattfindet.“ [MEYER ET AL., 1999] Dadurch ist sowohl die objektive biomechanische als auch die subjektive Belastung der Probanden geringer als bei normalen Sitzpositionen.

### 2.2.8 Kinematik

Viele experimentelle Studien untersuchen vor allem die Kinematik der Kopf-Hals-Region. Hierzu werden an mehreren Punkten am Kopf, an verschiedenen Halswirbeln, an der Schulter usw. Meßgeräte angebracht, die die Beschleunigungen messen. Außerdem wird die Bewegung auf einem Hochgeschwindigkeitsfilm aufgezeichnet. Bezüglich der Kinematik werden hier nur Studien mit Kopfstützen berücksichtigt. Die beschriebenen Bewegungsmuster unterscheiden sich nur unwesentlich, was z.B. auf unterschiedlichen Kopfstützeinstellungen beruht. Innerhalb der ersten 100-120 ms [SZABO ET AL.] kommt es zu einer leichten Flexion des Kopfes relativ zum Rumpf. Sobald die Rückenlehne den Oberkörper beschleunigt, kommt es zur erwarteten Rückrotation des Kopfes, wobei es nur in seltenen Fällen [SZABO ET AL.] zu einer geringen Extension ( $<10^\circ$ ) aus der anatomischen Normallage kommt. In keinem der Fälle gab es eine Hyperextension, d.h. eine Extension über das physiologische Maß hinaus [SZABO ET AL., MC CONNELL ET AL. 1995]. Die Rückwärtsbewegung wird durch den Anprall an der Kopfstütze beendet, der, je nach Studie, 100 ms [GEIGL ET AL.], 140 ms [MEYER ET AL.], 160 ms [MATSUSHITA ET AL.] bzw. ca. 170 ms [SZABO ET AL.] nach dem Stoß erfolgt. Nach dem Anprall kommt es zu dem sogenannten Rebound, also einer Vorwärtsbewegung, die dann abschließend durch den Gurt aufgefangen wird. Hierbei wird keine größere Flexion im Halsbereich beobachtet [NIELSEN ET AL.]. Zusammenfassend muß festgehalten werden, daß es bei korrekter



Einstellung der Kopfstütze zu keiner Hyperextension, sondern vielmehr zu Scherung [MEYER ET AL.1997] bzw. einer Streckung und Kompression [MATSUSHITA ET AL.] der HWS kommt.

Der Verletzungsmechanismus ist auch durch zahlreiche experimentelle Studien nicht exakt geklärt. Die Annahme, daß die Beschwerden ausschließlich durch eine Schleuderbewegung, bzw. eine Peitschenschlagbewegung ("whiplash") ausgelöst werden, ist aber mit Sicherheit falsch. Bei keiner der experimentellen Studien sind, trotz teilweise höherer Geschwindigkeitsänderungen, schwerere Verletzungen aufgetreten, die bei realen Unfällen im gleichen  $\Delta v$ -Bereich immer wieder reklamiert werden.

Wenn Parameter, wie z.B. die Stoßerwartung, sich als relevante Einflußfaktoren in diesen experimentellen Studien erweisen, müssen diese in Zukunft auch bei realen Unfällen untersucht und berücksichtigt werden. Hierdurch wird man die oft angezweifelte Vergleichbarkeit zwischen Versuchen und realen Unfällen ein Stück verbessern können.

## 2.3 Übersicht der Feldstudien

Um die in der Realität auftretenden Beschwerden nach Heckkollisionen zu untersuchen und um die Ergebnisse mit den experimentellen Studien zu vergleichen, wurden mehrere Feldstudien durchgeführt. Hierbei wurden entweder nur die medizinischen Belange berücksichtigt, wie in der Arbeit von FRANK W. ROEMER, oder sowohl medizinische als auch technische Daten erhoben, wie in einigen anderen Arbeiten (z.B. RYAN, OTTE, etc.). Da hier nur Arbeiten mit Bezug auf spezifische Unfalldaten interessieren, wird bzgl. der Untersuchungen, die keinen Bezug auf den stattgefundenen Unfall nehmen, die Zusammenfassung von F W. Roemer zitiert.

### 2.3.1 Roemer

In der Arbeit „Die Beschleunigungsverletzung der Halswirbelsäule - Metaanalyse unter besonderer Berücksichtigung der klinischen Symptomatik“ faßt ROEMER 32 klinische Studien von 1986 – 1993 im Zusammenhang mit HWS – Distorsionen zusammen. Diese behandeln ausschließlich die klinische Symptomatik und die Therapiemöglichkeiten der Verletzung.

Im ersten Teil der Arbeit werden die möglichen Verletzungen und deren Symptomatik behandelt. Außerdem wird das Problem der Einteilung nach Verletzungsschwere diskutiert. Nach Auffassung des Autors ist eine Graduierung, die die Belastung der Fahrzeuge, die Belastung der Insassen, sowie die dadurch hervorgerufenen Beschwerden zu verbinden versucht, hinsichtlich der Therapie und der Prognose nicht sinnvoll, da hier kein Zusammenhang erkennbar sei. Ausschließlich eine rein medizinische Klassifikation, hier z.B. der „Enzensberger Konsens“ [MOORAHREND], sollte für die weitere Behandlung der Patienten durchgeführt werden.

Der Autor behandelt in einzelnen 14 Studien, die sich speziell mit den neuropsychologischen und psychologischen Defiziten (wie z.B. Störung der Abstraktions- und Gedächtnisleistung sowie der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit, usw.) beschäftigen. Die oftmals durchgeführten Tests zur Persönlichkeitsstruktur der Probanden fielen durchwegs unauffällig aus. „Die nachgewiesenen Defizite können somit nicht auf psychopathologische Persönlichkeitsmerkmale zurückgeführt werden. Versuche, einen Einfluß psychosozialer Belastungsfaktoren und momentanem Streß zum Zeitpunkt des

Unfalles auf die Prognose des Heilungsverlaufes nachzuweisen, ließen sich nicht erhärten.“

Zusammenfassend wurde zum Thema Therapie festgestellt, daß die besten Ergebnisse mit früher Entwöhnung von der Schanz'schen Krawatte und durch frühe Mobilisation erreicht wurden. Die Anwendung von Wärme und von Analgetika sowie Krankengymnastik verbesserte ebenso die Heilung.

Als negative Prognoseparameter wurden hohes Lebensalter, pathologische Röntgenbefunde, hohe Schmerzintensität und neurologische Defizite initial nach dem Unfall festgehalten. Die Anwendung von Sicherheitsgurt und Kopfstütze, sowie Sitzposition und die Stellung der HWS im initialen Röntgenbild sollte keinen Einfluß auf die Heilung haben.

### 2.3.2 Otte et al.

OTTE ET AL. berichten über ein Kollektiv von 4.853 Personen, die im Großraum Hannover in den Jahren 1985-1995 als Folge eines Unfalles Verletzungen erlitten. 1238 erlitten HWS-Distorsionen oder reklamierten diese.

21,2% (n=259) der dokumentierten Fälle traten bei Heck-, 34,6% bei Frontkollisionen, der Rest bei Seitenaufprall, bei Überschlägen oder anderen Unfalltypen auf. Durch eine Unfallanalyse wurde die Geschwindigkeitsänderung des betroffenen Fahrzeuges berechnet. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Wenn Frauen bei Unfällen verletzt werden, erleiden sie häufiger als Männer eine HWS – Distorsion (Abbildung 2.3.1). Als mögliche Ursache sahen OTTE ET AL. die geschlechtsspezifischen Unterschiede: im Verhältnis zu ihrer Körperlänge haben Frauen einen längeren Hals und einen größeren Kopf. Außerdem wurde festgestellt, daß Frauen öfters in kleinen und leichten Autos einen Unfall erleiden.

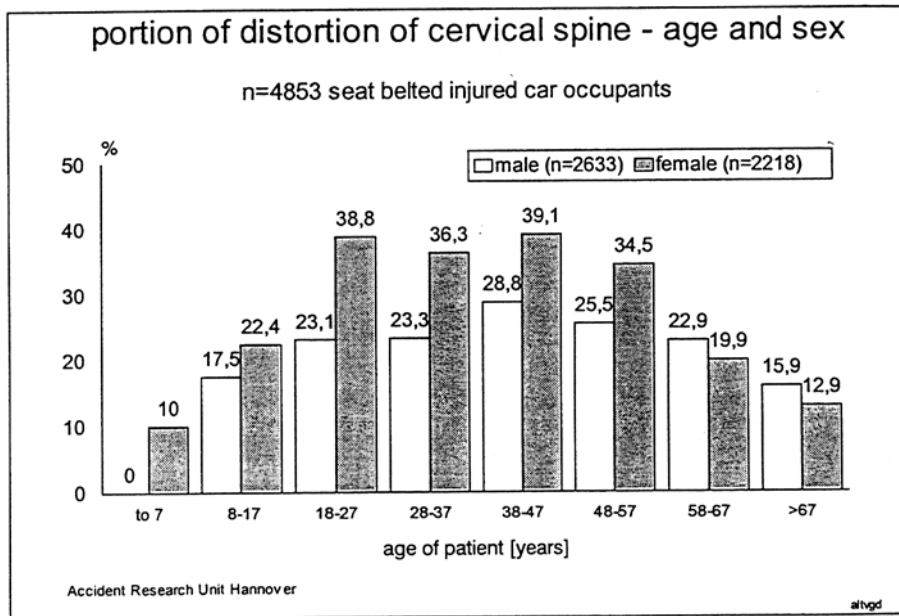


Abb. 2.3.1: Anteil der Verletzten mit HWS-Distorsion differenziert nach Alter und Geschlecht (Quelle: OTTE et al.1997)

Die Altersgruppe von 18 bis 57 Jahren zeigt ein gehäuftes Auftreten der Hals – Distorsion im Vergleich zu anderen Verletzungen (Abbildung 2.3.1).

Es fiel auf, daß bei niedrigem  $\Delta v$  (bis 10 km/h) das Risiko, eine HWS-Distorsion zu erleiden bei Heckkollisionen wesentlich höher ist als bei Frontalkollisionen. Bei Personen, die bei einem niedrigeren  $\Delta v$  eine Verletzung erlitten, wurden hauptsächlich HWS-Distorsionen beobachtet. Frakturen der Halswirbelsäule traten erst bei höheren Geschwindigkeitsänderungen (ab 30 km/h) vermehrt auf, wobei festzuhalten ist, daß in einem Fall eine solche Fraktur bereits mit einem  $\Delta v$  von 10 km/h bei einem Heckaufprall angegeben wurde, was, bei Beachtung aller anderen Arbeiten, nicht nachvollziehbar ist.

Das Gewichtsverhältnis der beiden Fahrzeuge schien kein Einflußfaktor für die HWS-Distorsion zu sein.

Ferner scheint die Sitzposition (Fahrer oder Beifahrer), soweit sie bekannt war, keinen Einfluß auf das Verletzungsrisiko zu haben.

Für 117 Fälle wurde durch eine Unfallanalyse gezeigt, daß  $\Delta v$  unter 10 km/h lag. Um die Langzeitfolgen zu untersuchen, wurden an die Betroffenen Fragebögen verschickt, wobei der Rücklauf ca. 30% betrug.

Innerhalb der Rahmenvorgabe, d.h. bis zu 10 km/h  $\Delta v$  wurden 45 betroffene Personen, davon 22 nach Heckkollisionen, nach 6 Jahren zur Schmerzsymptomatik befragt. Bei 60% gab es nach dem Unfall kein schmerzfreies Intervall. Von den 22 in einen Heckaufprall verwickelten Befragten gaben zwei noch immer auftretende Beschwerden an.

Hieraus ließ sich kein Zusammenhang zwischen den auftretenden Beschwerden, der Unfallschwere ( $\Delta v$ ) und der Charakteristik von Heck- und Frontkollision herstellen.

Auch die Bestimmung des vertikalen Kopf – Kopfstützenabstandes ließ sich in keine Beziehung zur Schmerzsymptomatik bringen.

### Heckkollisionen

Bei der Betrachtung von 213 Insassen mit WAD nach Heckkollisionen fällt auf, daß bei der absoluten Anzahl der Verletzten die Frauen überwiegen und daß 37% dieser Verletzungen bei Geschwindigkeitsänderungen bis 10 km/h und 43 % bei Geschwindigkeitsänderungen zwischen 11 und 20 km/h auftraten. (Abbildung 2.3.2)

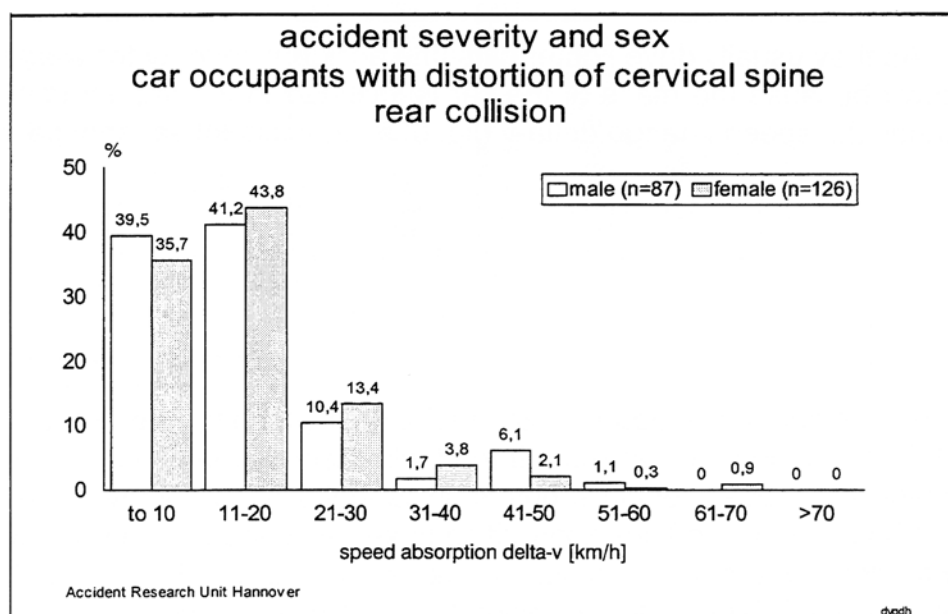


Abb. 2.3.2 Unfallschwere und Geschlecht der Fahrzeuginsassen mit HWS-Distorsion (Quelle: OTTE et al. 1997)

Da die Daten bei OTTE et al (1997) im übrigen nicht weiter nach der Stoßrichtung differenziert wurden, sind bezüglich der Heckkollisionen keine weiteren Ergebnisse aus dieser Arbeit zu erkennen.

### 2.3.3 Temming et al.

Eine auf die gleiche Datenbank gestützte Studie führten J. TEMMING UND ZOBEL durch, wobei mit einer anderen Auswahl als bei OTTE ET AL. gearbeitet wurde. Die Autoren untersuchten den Zeitraum von 1987 bis 1996, in dem 12.001 Insassen in 5.788 Unfälle verwickelt waren. Die menschlichen Faktoren Geschlecht, Alter, Größe und Gewicht der Unfallopfer wurden auf einen Einfluß auf das Erleiden einer HWS-Distorsion hin untersucht. Es wurden sowohl personenbezogene Daten, wie Maße und Krankengeschichte der Opfer, als auch fahrzeug - und unfallbezogene Daten, z.B. aus Unfallrekonstruktionen gesammelt.

Da alle Insassen in die untersuchte Datenmenge aufgenommen wurden, obwohl 6.744 von ihnen, das entspricht 56,1 %, nicht verletzt worden waren, ist es möglich ein Verletzungs**risiko** zu berechnen. 13,5 % aller Insassen erlitten eine HWS-Distorsion.

Bei der Betrachtung der Kollisionsrichtung fällt auf, daß der Heckaufprall das größte, der Seitenaufprall das geringste Verletzungsrisiko für die HWS birgt.

#### Heckkollision

Das Verletzungsrisiko für weibliche Insassen war doppelt so hoch wie für männliche. Bei der Untersuchung des Alters der Insassen ergibt sich für die Gruppe von 17 bis 47 Jahre ein leicht erhöhtes Risiko, eine WAD zu erleiden (Abbildung 2.3.3). Dadurch kann ein vermutetes erhöhtes Risiko für ältere Menschen nicht bestätigt werden. Bei zunehmender Körpergröße zeigt sich sowohl für Männer wie auch verstärkt für Frauen ein erhöhtes Risiko für eine derartige Verletzung. In der Gewichtsklasse über 60 kg ergibt sich kein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem Körpergewicht und dem Verletzungsrisiko. Außerdem zeigt sich in der Gruppe unter 53 kg und in der Gruppe unter 157 cm ein verringertes Risiko, was durch das verstärkte Auftreten von Heranwachsenden und Kindern in diesen Gruppen erklärt werden kann.

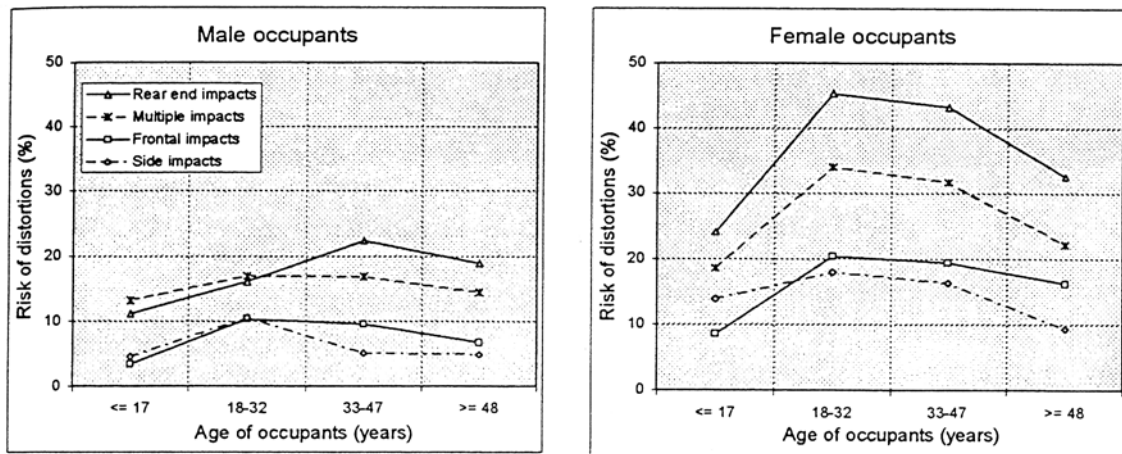


Abb. 2.3.3: Verletzungsrisiko angegurteter Insassen verschiedenen Alters ( Quelle: TEMMING UND ZOBEL)

Aufgrund des Ausgangsmaterials war es den Autoren der Studie weder möglich, eine genauere Differenzierung der erlittenen Verletzungen vorzunehmen, noch spezifischere Unfalldaten, die über die Kollisionsrichtung hinausgehen, zu erheben. Hierdurch bleiben einige Einflußfaktoren (z.B. Fahrzeuggewicht, usw.) unberücksichtigt.

#### 2.3.4 Ryan et al.

RYAN ET AL. haben 1994 in Australien den Zusammenhang zwischen Parametern für die Schwere des Unfalls und solchen für die danach auftretenden Beschwerden untersucht.

Dafür wurden 32 Freiwillige zwischen 15 und 69 Jahren (18 Frauen, 14 Männer), die einen Unfall erlitten (22 davon einen Heckaufprall) und HWS-Beschwerden hatten, direkt nach dem Unfall und sechs Monate später ausgiebig medizinisch untersucht. Dabei wurden fünf Parameter für die Schwere der Beschwerden festgelegt: die Anzahl der betroffenen Körperregionen, die Anzahl der auf Druck sensiblen Bereiche, der Bewegungsumfang des Kopfes, die subjektive Schmerzeinschätzung und die Einschätzung der Beschwerden durch den Untersuchenden.

Sowohl die Fahrzeuge der Probanden wie auch die der Unfallgegner wurden, wo es möglich war, untersucht. Es wurde eine Unfallrekonstruktion durchgeführt, woraus je

zwei Parameter für die Unfallschwere errechnet wurden: die maximale Verformung (Intrusionstiefe) der gestoßenen Fahrzeuge und deren  $\Delta v$ .

Die Mehrzahl der Unfälle war leichter Natur: sechs von ihnen mit einem  $\Delta v$  von weniger als 10 km/h und acht mit einer maximalen Intrusionstiefe von weniger als 50 mm. Aber auch drei Unfälle mit einem  $\Delta v$  von mehr als 20 km/h und 12 mit einer Intrusionstiefe von mehr als 100 mm waren unter den Fällen. Bei sieben Fällen (ca. 22 %) ließ sich keine  $\Delta v$  bestimmen.

Es konnte weder zwischen der Sitzposition, noch der Blickrichtung des Kopfes, des vertikalen Kopf – Kopfstützenabstandes, der Stoßrichtung und der Masse des getroffenen Fahrzeuges ein Zusammenhang mit der Schwere der Beschwerden kurz nach dem Unfall hergestellt werden. Dagegen gab es teilweise einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Stoßerwartung und der Schwere initialer Beschwerden (Druckempfindliche Bereiche  $p=0,07$ , Flexion  $p=0,01$ , Extension  $P=0,03$ ).

Von den 29 zur Follow – up Untersuchung zur Verfügung gestandenen Personen gaben 19 noch nach sechs Monaten existierende Beschwerden an. Hier wird angemerkt, daß sechs von ihnen noch keine Versicherungsleistungen erhalten hatten. Die Probanden, die auf den Unfall vorbereitet waren, hatten ein geringeres Risiko, an langandauernden HWS – Beschwerden zu leiden, als die, die unvorbereitet verunfallten. Weitere Parameter, bei denen ein eindeutiger Zusammenhang mit längerandauernden Beschwerden nachweisbar gewesen wäre, waren nicht erkennbar.

## Heckkollision

Auch in der Studie von RYAN ET AL. werden die meisten Ergebnisse ohne Differenzierung der Stoßrichtung präsentiert. In der Gruppe der Heckkollisionen gibt es eine Korrelation zwischen der Schwere des Unfalls bezogen auf Intrusionstiefe und  $\Delta v$  sowie der Einstufung der Beschwerden durch den Probanden und den unabhängigen Untersuchenden.

Trotz der geringen Fallzahl von 32 Verunfallten, davon 22 nach Heckkollision, ist nach Ansicht der Verfasser eindeutig gezeigt worden, daß HWS-Beschwerden auch



von Unfällen mit sehr geringer Schwere resultieren können. Außerdem konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Stoßerwartung auf den Unfall und den Beschwerden hergestellt werden.

### 2.3.5 Minton et al.

MINTON ET AL. untersuchten 1997 in Großbritannien 174 Personen, die aufgrund eines Verkehrsunfalles eine HWS-Verletzung erlitten hatten und deswegen ein Krankenhaus aufsuchten. Andere schwerwiegende Verletzungen (AIS>1) führten zum Ausschluß. Die Verletzung wurde sofort protokolliert und in einer Skala nach Murray et al. mit Werten von 0 bis 9 bewertet. Nach sechs und zwölf Monaten unterzogen sich die Probanden einem Follow-up Gespräch. Da unverletzte Personen nicht in die Studie aufgenommen wurden, können MINTON ET AL. nur die Verletzungsschwere, nicht aber eine Inzidenz (=Risiko) bestimmen. Der Fahrzeugschaden wurde ebenfalls aufgenommen und verschiedene Parameter, wie Lehnenhöhe und –neigung, horizontaler und vertikaler Kopfstützenabstand, sowie Art der Kopfstütze (einstellbar oder fest) bestimmt. Die Studie beinhaltet verschiedene Fahrzeugmarken und -modelle, sowie neben Heck- auch Front- und Seitenkollisionen.

Die durchschnittliche Verletzungsschwere war bei den männlichen Teilnehmern geringer als bei den Frauen, obwohl zu bedenken war, daß die begrenzten Einstellmöglichkeiten der Sitze für Frauen, wegen ihrer geringeren Größe, einen besseren Schutz bieten müßten.

Die Personen, die auf den Unfall vorbereitet waren, hatten eine gering niedrigere Verletzungsschwere, wobei keine Signifikanz festgestellt wurde.

Überraschenderweise hatten nicht einstellbare Kopfstützen einen leichten Vorteil gegenüber einstellbaren und die Fälle ohne Kopfstütze unterschieden sich kaum von den übrigen, wobei in keinem Fall ein signifikanter Unterschied festzustellen war.

Einen eindeutigen Zusammenhang fanden die Autoren zwischen horizontalem Kopfstützenabstand und Grad der Verletzung. Bei einem Abstand über 22 cm, eine Position, die in anderen Arbeiten als „Forward Inclined Position“ FIP bezeichnet wird, war die Verletzungsschwere geringer als bei Sitzpositionen, bei denen der Kopf näher an der Kopfstütze war.

Das gehäufte Auftreten von Schmerzen in der Lumbalregion veranlaßte die Autoren, dieses Problem in ihre Studie aufzunehmen. Hier fanden sie, daß ein größerer Lehnwinkel ein höheres Risiko für derartige Schmerzen bedingt.

Zwischen Heckaufprall und anderen Stoßrichtungen bestand hinsichtlich der Verletzungssymptomatik im Lumbalbereich kein Unterschied.

Zusammenfassend stellten die Autoren fest, daß es ihnen nicht möglich war, einen Vorteil von Kopfstützen beim Heckaufprall zu belegen. Außerdem konnte auch die von OLLSON ET AL. postulierte Grenze von 10 cm beim horizontalem Kopfstützenabstand, ab der mit vermehrten Langzeitbeschwerden gerechnet werden muß, nicht bestätigt werden.

### Heckkollision

Da MINTON ET AL. seine Auswertungen nicht nach der Stoßrichtung differenziert, lassen sich keine Erkenntnisse ausschließlich für die Heckkollision herausarbeiten.

### 2.3.6 Quebec Task Force (QTF)

In einer 1994 von der Quebec Task Force in Kanada vorgestellten Studie, geleitet von *Samy Suissa*, in Zusammenarbeit mit der kanadischen Automobilversicherung SAAQ, wurden alle Fälle aus dem Jahr 1987 untersucht, in denen infolge einer HWS-Distorsion Ansprüche an die Versicherung (SAAQ) gestellt wurden [SPITZER ET AL.]. Dabei wurden sowohl prognostische Faktoren (Geschlecht, Alter, Wohnort, Familienstand, Beschäftigung, Einkommen, usw.), als auch, im Falle von vorhandenen Polizeiberichten, die daraus erhebbaren Unfalldaten (Unfallschwere, Art des Fahrzeuges, Sitzposition, Kollisionsrichtung, usw.) ermittelt und verarbeitet. Als potentiell abhängige Variablen wurden die Dauer der Abwesenheit vom Arbeitsplatz, die Dauer der Beschwerden oder deren Wiederauftreten, sowie die für die Versicherung entstandenen Kosten untersucht.

Die Autoren konnten auf die Datenbank der Versicherung (SAAQ) mit 3014 dokumentierten Fällen (Personen) inklusive Polizeireport zurückgreifen. Hiervon waren 89,5 % der Verunfallten PKW-Insassen; der Rest Fußgänger, Radfahrer und LKW-Fahrer. 31 % der Verunfallten erlitt die Verletzung durch einen Heckaufprall.

Beim Vergleich der Inzidenz der kompensierten Forderungen an die Versicherung in verschiedenen Provinzen Kanadas fällt der Unterschied zwischen 70/100.000 Einwohner in Quebec und 700/100.000 Einwohner in Saskatchewan auf. Als mögliche Erklärung geben die Autoren das unterschiedliche Versicherungssystem in beiden Provinzen an.

Es fällt die Altersgruppe der 20 – 54-jährigen bezogen auf die Gesamtbevölkerung und die Gruppe der 25 – 54-jährigen bezogen auf die Verletzten durch ein erhöhtes Auftreten von Ansprüchen auf.

Für die Dauer der Abwesenheit vom Arbeitsplatz werden als prognostisch ungünstige Faktoren weibliches Geschlecht, höheres Alter, Ehe oder eheähnliche Lebensgemeinschaft und eine große Zahl Abhängiger von der geschädigten Person genannt. Eine geringe Unfallschwere, ein Unfall in einem PKW, Gurtbenutzung und Heckaufprall waren mit einer geringeren Anzahl von Krankheitstagen verbunden. Der Ausgleich des Verdienstaufalles machte mehr als 70% der bezahlten Forderungen aus. Daraus ist zu ersehen, daß die Kosten der Versicherung in hohem Maße von der Dauer des Verdienstaufalles abhängig sind.

Über 38% der Kosten entstanden durch 26% der Antragsteller, die zwischen zwei und sechs Monaten krankgeschrieben waren. 46% der Kosten wurden durch die 12,5% der Opfer verursacht, die auch nach sechs Monaten noch Kompensationszahlungen erhielten.

### Heckkollision

31 % der erfaßten Verletzten waren von einem Heckaufprall betroffen. Diese hatten im Schnitt weniger Krankheitstage als der Rest der Verletzten. Heckkollisionen waren aber mit einem erhöhtem Auftreten von längerandauernden oder wiederauftretenden Beschwerden verbunden.

Diese Studie stellt das Problem der WAD aus Sicht der Versicherungen dar, wobei keine spezifische Unfalldaten erhoben werden konnten und auch keine objektivierbaren Parameter für die erlittenen Verletzungen untersucht wurden.

### 2.3.7 Hell et al.

In der Arbeit von HELL ET AL. wird, auf Basis einer 15.000 Unfälle umfassenden Datenbank des GDV (Gesamtverband der Deutschen Schadensversicherer), eine Untersuchung der HWS-Distorsion nach Auffahrunfällen durchgeführt.

Aus der verwendeten Datenbank, die 18 % aller Verkehrsunfälle in Westdeutschland aus dem Jahre 1990 umfaßt, wurden 517 Fälle extrahiert, die die Kriterien Heckkollision, dokumentierte HWS-Beschwerden mindestens eines der Insassen und fotografische Dokumentation mindestens eines Kollisionspartners erfüllten. Auf Grundlage der vorliegenden Unfalldaten wurde eine technische Analyse der Kollision zur Bestimmung von  $\Delta v$  durchgeführt.

Von den 833 Personen klagten 673 (das entspricht 80,8%) über HWS-Beschwerden. Die Zahl derer, die von einer WAD betroffenen waren, nimmt bei einer Geschwindigkeitsänderung über 15 km/h zu. Bei viel höherer  $\Delta v$  ( $>25$  km/h) nimmt das Risiko dagegen wieder ab, wofür die Autoren die verstärkte Rückwärtsbewegung der Sitzlehne bis zum Bruch als mögliche Erklärung angeben.

Bei Mehrfachkollisionen (mehr als ein Kollisionspartner) ließ sich ein erhöhtes Risiko für das Erleiden einer derartigen Verletzung finden.

In keiner Altersgruppe ist das HWS-Trauma im Vergleich zu anderen leichteren Verletzungen bei Unfallbeteiligten überrepräsentiert. Es ist keine höhere Verletzungshäufigkeit in der Altersverteilung nachzuweisen. Jüngere Patienten ( $< 30$  Jahre) erleiden eher geringgradige Verletzungen (QTF I oder II), wogegen für Patienten mit 60 Jahren und älter das Risiko für schwergradige Verletzungen im Bereich der HWS steigt. Wie auch andere Autoren finden HELL ET AL. ein erhöhtes (1,4-fach) Verletzungsrisiko für Frauen im Vergleich zu Männern.

Die mittlere Heilungsdauer betrug bei QTF I 18, bei QTF II 25 und bei QTF III 38 Tage. Aber auch fast 50 Tage nach dem Ereignis klagten noch 19% über entsprechende Beschwerden .

Fondpassagiere erlitten im Durchschnitt leichtere Verletzungen als die Insassen auf den vorderen Sitzen, was mit oft fehlenden Kopfstützen im Fond, einer anderen Sitzkonstruktion und dem fehlenden elastischen Rebound der Rücksitzbank erklärt wird. Die Einstellung der Kopfstütze zeigte einen Einfluß auf die Verletzung: bei maximalem Auszug war das Verletzungsrisiko reduziert. Die geringe Größe dieser

Gruppe mit maximalem Auszug( Fallzahl = 5) läßt aber keine weitergehende Interpretation zu. Die Personen, die den Unfall ohne Kopfstütze erlitten, hatten geringere Verletzung als die Gruppe mit niedrig eingestellter Kopfstütze. Die Bewertung der Kopfstützeeneinstellung ist hier problematisch, da der absolute Auszug gewertet wurde und nicht der Auszug in Relation zu der betroffenen Person, d.h. der vertikale Abstand zwischen Kopf und Kopfstütze.

### 2.3.8 Münker et al.

MÜNKER ET AL. verwendeten 1995 die gleiche Datenbank wie Hell et al. Zusätzlich zu der obigen Studie kommen die Autoren zu folgenden Ergebnissen:

Insassen in leichten PKW (bis 800 kg) wurden häufiger an der HWS verletzt als Insassen schwererer PKW. Die Autoren finden bei 4 - 8% der Verletzten Symptome, die auf eine Kontaktverletzung durch den Anprall an der Kopfstütze hindeuten. 71 % der Röntgenaufnahmen der HWS waren ohne pathologischen Befund, nur bei 26 % trat eine Steilstellung der HWS auf.

Hierbei ist zu bemerken, daß bereits bei Unverletzten ein hoher Anteil, bei HELLIWELL ET AL. mit 42% angegeben, mit einer sogenannten Steilstellung der HWS gefunden wird.

In dieser Arbeit wird aber nicht nach der Kollisionsrichtung unterschieden, was zu einer geringen Aussagekraft bezüglich Heckkollisionen führt.

### 2.3.9 Krafft

Die Basis der Studie von M. KRAFFT bildet die Datenbank der Volksam Versicherung in Schweden. In mehreren Studien und Unterstudien werden anhand einer zufälligen Auswahl von Unfällen vor allem die Langzeitfolgen untersucht. Nach den Unfällen hatte mindestens ein Insasse eine HWS-Verletzung gemeldet. Hierzu unterscheidet die Autorin zwischen den anfänglichen Beschwerden, sog. IDN (initial disabling neck injury) und Langzeitbeschwerden, sog. LDN (longterm disabling neck injury). Hierbei dauerten die Beschwerden mehr als 1 Jahr an.

M.KRAFFT traf folgende Feststellungen: Die Stoßrichtung hat keinen signifikanten Einfluß auf Dauer der Beschwerden. Initiale HWS-Beschwerden vorausgesetzt, ist

das Risiko, unter LDN zu leiden, für Frauen 44 % höher als für Männer. Die Altersgruppe von 41 - 60 Jahren hat ein erhöhtes Risiko gegenüber jüngeren Insassen. In der Gruppe der unter 15 - jährigen gab es von 1990 - 93 in Schweden keinen Fall, der über längerandauernden Beschwerden klagte.

Überraschenderweise ist das Risiko für LDN in älteren Fahrzeugen (Baujahr Anfang der 80er Jahre) deutlich geringer (2,7 fach) als in neueren (Ende der 80 er und Anfang der 90 er Jahre). Dieses Phänomen versucht die Autorin mit steiferen Sitzen in neueren Autos zu erklären. Obwohl ein Zusammenhang zwischen IDN und dem Gewicht des gestoßenen Fahrzeuges eindeutig nachweisbar war - je leichter das Fahrzeug, desto höher das Risiko - gibt es diesen in Bezug auf LDN nicht. Auch das Gewicht des stoßenden Fahrzeuges hat keinen eindeutigen Einfluß auf die Langzeitfolgen, wobei aber die Bauart des Vorderwagens entscheidend sein soll; quer eingebaute Motoren in den stoßenden Fahrzeugen verursachen ein geringeres Verletzungsrisiko für die Opfer als längseingebaute Aggregate.

Außerdem untersuchte die Autorin 22 Fälle, bei denen in den gestoßenen Fahrzeugen ein Unfalldatenschreiber eingebaut war. Zur vollständigen Auswertung kamen 6 Fälle, da bei den restlichen kein  $\Delta v$  berechnet werden konnte. Zwei der Fälle lagen im besonders interessanten Geschwindigkeitsbereich unter 14 km/h, wobei bei keinem dieser Insassen LDN auftraten.

Nach Meinung der Autorin ist es nicht möglich, anhand von Unfalldaten, die für initiale Symptomatik verantwortlich sind, Vorhersagen für Langzeitfolgen zu treffen.

### 2.3.10 Großer und Fürbeth

Im Jahr 1997 untersuchten GROßER UND FÜRBETH 101 Heckkollisionen mit 121 Insassen. Das Ziel der Arbeit war, die häufig angenommene biomechanische Belastungsgrenze bei  $\Delta v$  von 13 km/h zu validieren.

Die Insassen, zwischen 10 und 69 Jahre alt, wurden zu ihren Beschwerden befragt und in zwei Gruppen mit 39 Verletzten und 82 Unverletzten eingeteilt. Als unverletzt galt ein Proband, wenn er auch ein oder zwei Tage nach dem Unfall keine Beschwerden im Bereich der HWS oder anderer Körperbereiche hatte. Aus den erhobenen Unfalldaten wurden Kollisionswinkel und  $\Delta v$ , bzw. dort, wo dies nicht möglich war, EES berechnet.

Für die Verletzten lagen die Werte für  $\Delta v$  zwischen 8 und 35 km/h, für die Unverletzten zwischen 3 und 30 km/h. Im Geschwindigkeitsbereich, der unterhalb der angenommenen Grenze von 13 km/h lag, war bei den Verletzten das Verhältnis von männlich zu weiblich 1:3. Die zusätzlich erhobenen Unfallparameter, wie Fahrzeugtyp, Kollisionspartner, Kollisionswinkel, Überdeckungsgrad und Steifigkeit schienen keinen Einfluß auf das Verletzungsrisiko gehabt zu haben.

Die Autoren kommen zu dem Schluß, daß die verwendete Belastungsgrenze von 13 km/h bei gesunden Insassen als richtig anzusehen sei, obwohl nicht auszuschließen sei, daß auch bei niedrigeren  $\Delta v$ , vor allem bei Frauen, HWS-Beschwerden auftreten können, die aber nur von kurzer Dauer sind.

Aus der Arbeit geht nicht hervor, ob die Einteilung in verletzt oder unverletzt ausschließlich nach den subjektiven Angaben der Betroffenen erfolgte. Der Anteil (68%) der Unverletzten bei nicht unerheblichen  $\Delta v$ -Werten erscheint im Vergleich mit anderen Studien recht hoch (z.B. HELL ET AL. 19%). Dies ist wahrscheinlich auf ein unterschiedliches Insassenkollektiv zurückzuführen. Bei Hell et al. war z.B. HWS-Beschwerden mindestens eines Insassen Einschlusskriterium, was bei GROßER UND FÜRBETH nicht der Fall war.

### 2.3.11 Zusammenfassung

In den Feldstudien wurde gezeigt, daß mit zunehmender Geschwindigkeitsänderung des gestoßenen Fahrzeuges bei einer Heckkollision auch die Verletzungshäufigkeit zunimmt, wobei immer auch bei niedrigeren  $\Delta v$  ( $< 14$  km/h) Beschwerden festgestellt wurden [OTTE, RYAN, HELL, GROßER-FÜRBETH]. Das Risiko für Frauen, eine HWS-Distorsion zu erleiden, ist deutlich größer als für Männer [OTTE, TEMMING, KRAFFT, GROßER-FÜRBETH]. Die immer wieder vertretene Meinung, daß ältere Personen ein erhöhtes Risiko haben, ist in keiner Studie bestätigt worden: im Gegenteil wurde häufig ein geringeres Risiko für Personen über 60 Jahren beobachtet [TEMMING, HELL, KRAFFT].

Da die Kinematik der Kopf-Hals-Region beim Heckaufprall sich deutlich von der bei anderen Stoßrichtungen unterscheidet, muß auch bei der Untersuchung von Verletzungsrisiken und den zugehörigen potentiellen Parametern differenziert werden.

Durch eine unspezifische, nicht auf die Heckkollision bezogene Auswertung sind leider viele Studien in ihrer Aussagekraft bezüglich dieser Kollisionsrichtung stark eingeschränkt.



### 3 Untersuchungsmaterial und Datenerhebung

#### 3.1 Materialauswahl

Das Untersuchungsmaterial betrifft Patienten, die nach einem Auffahrunfall mit Beschwerden im Bereich der HWS ein Krankenhaus aufsuchten. Hierbei handelte es sich um zwei Krankenhäuser im Großraum München, eines davon im Stadtgebiet, eines im ländlichen Bereich. Die Patienten wurden von den Ärzten über die Studie aufgeklärt und um ihre schriftliche Einverständniserklärung gebeten. Die Auswahlkriterien für die Teilnahme waren Heckaufprall und zur Verfügung stehendes gestoßenes Fahrzeug.

Das gestoßene Fahrzeug wurde im Beisein der Geschädigten besichtigt.

Soweit seitens der Geschädigten Einverständnis bestand und uns Versicherung und Schadensnummer mitgeteilt wurden, konnte Einsicht in die Versicherungsakte genommen werden.

Es wurden insgesamt 22 Unfälle untersucht. Dabei waren 32 Personen, davon 22 Fahrer und 10 Mitfahrer (Beifahrer und Fondinsassen) betroffen. Es waren 17 weibliche und 15 männliche Insassen im Untersuchungsmaterial.

#### 3.2 Erhobene Daten

Die erhobenen Daten sind in Tabelle 3.1 und 3.2 zusammengefaßt und werden nachfolgend beschrieben.

##### 3.2.1 Gestoßenes Fahrzeug

Zum Fahrzeug wurden folgende Daten erhoben:

- Fabrikat
- Modell
- Baujahr
- Leergewicht
- Vorschäden im Heckbereich
- Schäden im Heckbereich

Der entstandene Schaden wurde fotografisch dokumentiert. Soweit verfügbar, wurden auch die Gutachten über die Schäden aus den Versicherungsakten herangezogen.

### 3.2.2 Stoßendes Fahrzeug

Bereits am Beginn der Studie stellte sich heraus, daß die Aufnahme der Schäden der auffahrenden Fahrzeuge auf erhebliche Widerstände stieß. Einerseits war von Seiten der Schädiger häufig keine Bereitschaft vorhanden, das Fahrzeug besichtigen zu lassen, andererseits war es aus organisatorischen Gründen nicht möglich, das Fahrzeug rechtzeitig vor der Reparatur des entstandenen Schadens zu besichtigen. Aus den Angaben der Geschädigten und den Versicherungsakten ließen sich folgende Parameter ermitteln:

- Fabrikat
- Modell
- Baujahr
- Leergewicht

### 3.2.3 Sitzparameter

Zur Sitzkonfiguration wurden folgende Parameter bestimmt (siehe Abbildung 3.1):

- Lehnenhöhe (L)
- Lehnenbreite
- Sitzlänge (S)
- Sitzbreite
- Lehnenneigung gegen die Horizontale
- Sitzneigung gegen die Horizontale
- Lehnenhärte

Ein besonderes Augenmerk wurde auf die Kopfstütze gelegt. Hier wurden folgende Parameter bestimmt:

- Höhe (K)
- Breite
- Härte
- Form (Kissen oder Rahmen)

Die Härte der Lehne und der Kopfstütze wurde nach subjektivem Empfinden des Untersuchenden in 5 Grade unterteilt (weich(w), mittelweich (mw), mittel (m), mittelhart (mh), hart (h)).

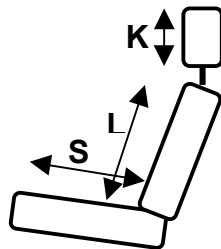


Abb 3.1: Sitzvermessung

Der Geschädigte wurde gebeten, die wahrscheinliche Sitzposition zum Unfallzeitpunkt einzunehmen. Sie wurde fotografisch dokumentiert. Bei dieser Rekonstruktion wurden der horizontale und vertikale Kopf-Kopfstützenabstand gemessen (siehe Abbildung 3.2).

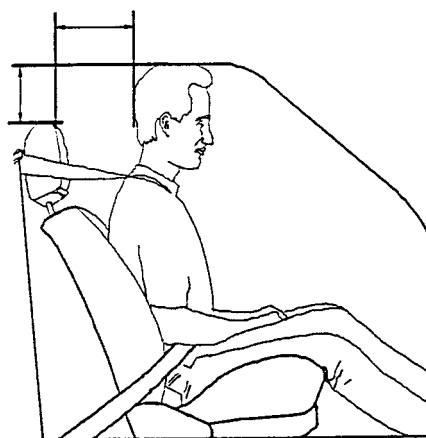


Abb. 3.2: Horizontaler und Vertikaler Abstand zwischen Kopf und Kopfstütze  
(nach MEYER ET AL. 1997)

### 3.2.4 Angaben zum Unfall

Zum Unfall standen einerseits die von den Patienten gemachten Angaben bezüglich des Zeitpunktes, des Ortes und des Herganges zur Verfügung. Andererseits existierten bei den von der Polizei aufgenommen Unfällen zusätzlich unabhängige Angaben aus den Versicherungsakten.

### 3.2.5 Personenbezogene Daten

Bei der Befragung zur Person der Probanden wurden folgende Daten erhoben:

- Alter
- Körperlänge
- Gewicht
- Vorschäden und prätraumatische Beschwerden im Bereich der HWS
- Kopfschmerzen
- Neurologische Defizite
- Vegetative Störungen
- Schmerzfreies Intervall (SI)

Die Anamnese der aktuellen Beschwerden wurde noch einmal erhoben, um etwaige Abweichungen gegenüber den im Krankenhaus gemachten Angaben zu erkennen und um eine mögliche Entwicklung der Beschwerden nachvollziehen zu können.

Von den Krankenhäusern standen deren Angaben über erhobene Befunde inklusive radiologischer Diagnostik und die vorgeschlagene Therapie zur Verfügung.

Aus den Versicherungsakten ließen sich in einigen Fällen in Anspruch genommene Anschlußheilbehandlungen erkennen.

Nach ca. einem halben Jahr wurden die Patienten nach dem Verlauf der Beschwerden, der Dauer der Arbeitsunfähigkeitsbescheinigung (AU) und dem erhaltenen Schmerzensgeld befragt.

Fall- nr.	Sitz- position	Geschl.	Alter [J]	Größe [cm]	Gewicht [kg]	Beruf	Vor- schäden HWS	SI in Std.	Verlet- zung nach Q T F	Verlet- zung nach Erd- mann	Neu- rol. Defi- zite	Be- weg- lich- keit	Hart- spann	Kopf- schmerz	Steil- stel- lung HWS	De- ge- nera- tion HWS	os- säre Lä- sion	veget. Symp- tomatik	Com- motio cere- bri	Dauer der Be- schwer- den [Wo]	Dauer der AU [Wo]	Schmer- zens- geld [DM]
1	Fahrer	w	49	163	76	Supermarktleiterin	0	7,5	2	1	0	2	1	1	1	1	0	1	0	kA	kA	kA
2	Fahrer	m	28	186	70	Tankwart	1	x	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	kA	kA	kA
3	Fahrer	m	32	183	80	Pfarrer	0		2	1	0	0	1	1	2	x	0	1	0	3	0	200
4	Fahrer	m	21	180	65	Hilfsarbeiter	0	0	2	1	0	1	1	0	1	x	0	0	0	2	0	kA
5	Rücksitz	m	20	185	78	Müller	0	0	2	1	0	2	1	0	2	x	0	0	0	3	3	kA
6	Fahrer	w	21	156	46	Steuerfachgehilfin	1	7	2	1	0	1	1	x	1	x	0	0	0	40	1	800
7	Fahrer	m	62	172	73	Rentner	1	1	2	1	0	x	1	x	1	1	0	0	0	2	0	800
8	Beifahrer	w	46	168	70	Verwaltungsangestellte	1	0	2	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	3	2	800
9	Fahrer	w	46	168	75	Schreibkraft	0	0,3	2	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	6	3	1800
10	Fahrer	m	62	167	86	Kauf. Angestellter	0	0,5	2	1	0	1	1	x	x	x	x	0	0	3	1	600
11	Beifahrer	w	22	160	48	Industriekauffrau	0	0,5	2	1	0	x	1	x	1	0	1	0	0	3	1	600
12	Fahrer	m	44	165	65	Versicherungsvertreter	0	15	2	1	0	x	x	x	x	x	0	0	0	3	0	1300
13	Fahrer	w	36	162	52	Hausfrau	1	2	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0	1850
14	Fahrer	m	53	170	79	Universitätsprofessor	0	0,5	1	0	0	0	1	0	x	x	x	0	0	0	0	kA
15	Fahrer	m	49	178	86	Dipl. Ingenieur	0	0	2	1	0	x	1	1	x	x	x	1	0	1	0	1200
16	Fahrer	m	27	182	65	Dipl. Ingenieur	0	0,3	1	1	0	0	0	1	x	0	0	0	0	0,5	1	800
17	Fahrer	m	37	172	72	Malermeister	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	kA	kA	kA
18	Fahrer	w	22	158	45	Fremdsprachenkorrespond.	0	0,5	3	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	kA	kA	kA
19	Rücksitz	w	17	171	69	Zahnarzthelferin	0	20	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0,6	800
20	Beifahrer	w	45	168	72	Sekräterin	1	5	2	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	6	0	kA
21	Fahrer	w	21	177	70	Schülerin	0	6,5	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	3	0	kA
22	Beifahrer	w	45	163	62	Lehrerin	0	x	0	0	0	0	0	0	x	x	x	0	0	0	0	kA
23	Fahrer	w	19	166	70	Schülerin	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	6	0	1500
24	Rücksitz	m	21	187	94	Zivildienstleistender	0	0,3	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	kA	kA	1500
25	Fahrer	m	57	176	68	Wachdienst	0	0	1	1	0	0	0	1	x	x	0	1	0	8	12	500
26	Beifahrer	w	51	156	45	Bilanzbuchhalterin	0	12	2	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	kA	0	500
27	Fahrer	w	22	173	72	Kauffrau	0	0	2	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	4	0	kA
28	Fahrer	m	32	175	75	Netzwerkspezialist	1	0	2	1	0	x	x	1	x	x	x	0	0	2	1	kA
29	Fahrer	w	32	165	60	Hausfrau(Kauffrau)	1	0	3	2	1	1	1	1	x	x	x	1	0	5	0	1300
30	Beifahrer	w	66	149	63	Hausfrau(Hotelfach)	0	0	2	1	0	x	x	x	x	x	x	0	0	24	0	1000
31	Fahrer	w	44	154	65	Fußpflegerin	1	0	2	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	1	kA	kA
32	Beifahrer	m	51	175	72	Ingenieur	1	18	2	1	0	1	1	0	x	1	0	0	0	2	kA	kA

Tab. 3.1: Zusammenfassung der personenbezogenen Daten, z.T. entsprechend Befragung, (x: keine Angabe / Beweglichkeit: Einschränkung der Beweglichkeit der HWS / Hartspann: Hartspann der zervikalen Muskulatur)

Fall-nr.	Fahrzeug gestoßen	Bau-jahr	Leer-gewicht [kg]	Fahrzeug stoßend	Bau-jahr	Leer-gewicht [kg]	Schadens-summe [DM]	$\Delta v$ - Bereich [km/h]	gesch. $\Delta v$ [km/h]	ge-bremsst	vor-ber-ei-tet	Gurt	Sitz L X B [cm]	Lehne H X B [cm]	Nei-gung Lehne	Nei-gung Sitz	Winkel Lehne-Sitz	Här-te Lehne	KS H X B [cm]	Här-te KS	Hor. Ab-stand [cm]	Ver. Ab-stand [cm]	Be-mer-kung
1	Mercedes 190	85	1110	Fiat Tipo	96	990		13-20	17	1	0	1	?? x 53	57 x 50	72	165	93	mh	20 x 26	mw	8	9	
2	Audi A6	93	1400	Golf2		928		x	x	1	1		53 x 54	58 x 54	70	164	94	mh	18 x 32	mh	11	12,5	
3	Lancia Dedra	91	1100	Opel Rekord	85	1395	13200	8-13	10	0	0	1	53 x 45	62 x 53	77	165	88	mw	17 x 28	m	11,2	14	
4	Golf2	85	928	Audi A3	97	1140	8100	11-15	13	1	0		48 x 53	47 x 52	67	167	100	m	19 x 27	mh	9,5	11	
5	Golf2	85	928	Audi A3	97	1140	8100	11-15	13	1	0		47	48	67	167	100	m	x	x	12	30	keine KS
6	Audi 80	80	950	Fiat Uno	94	755	7550	8-13	10	1	1		48 x 54	53 x 54	50	152	102	m	18 x 26	mh	14	13	
7	Opel Vectra	91	1090	Mercedes 124	95	1350	17800	11-13	11	0	0	1	50 x 52	52 x 52	65	165	-132	m	19 x 27	mh	21	6	
8	Opel Vectra	91	1090	Mercedes 124	95	1350	17800	11-13	11	0	0	1	50 x 52	52 x 52	60	165	-115	m	19 x 27	mh	10,5	7,5	mit 8
9	VW Passat	91	1155	Audi 80	89	1020	5500	6-8	7	1	0	1	45 x 55	57 x 54	70	165	-132	mh	19 x 26	mw	10	10	
10	BMW 320	96	1375	Mercedes 200	84	1375	6450	6-8	7	0	1	1	49 x 49	60 x 51	70	168	-124	mh	17 x 23	mh	12	8,5	
11	BMW 320	96	1375	Mercedes 200	84	1375	6450	6-8	7	0	1	1	49 x 49	60 x 51	65	168	-126	mh	17 x 23	mh	8,5	4	mit 10
12	Nissan Sunny	95	1115	Opel Kadett	90	900	10500	5-10	7	1	0	1	52 x 52	51 x 49	70	162	-137	mh	17 x 28	mh	11	9	
13	Citroen AX	91	720	Opel Vectra	94	1200	5950	8-12	10	0	1	1	49 x 52	49 x 49	55	159	-133	w	18 x 26	mw	11	10	
14	Audi A8	96	1825	Toyota RAV 4	96	1150	8900	9-12	10	1	0	1											
15	Golf3	95	1150	Range Rover	98	2100	15400	8-12	10	1	1	1	52 x 53	57 x 50	65			m	17 x 27	mh	12	12	
16	Audi 80	90	1050	Golf2	87	888	6000	6-9	8	0	0	1	51 x 54	57 x 51	70	163	-134	mh	17 x 26	mh	9	6	
17	Opel Astra Car.	96	1065	Audi 80	90	1050		6-9	8	0	1	1	50 x 53	58 x 52	71	168	97	m	20 x 28	m	4	-1	Sportsitze
18	Renault 21	89	1078	Opel Astra Car.	96	1065		9-13	11	1	0	1	58 x 54	56 x 55	62	164	102	w	17 x 24	w	12	6	
19	Renault 21	89	1078	Opel Astra Car.	96	1065		9-13	11	1	0	1	58	47	72	165	93	w	x	x	x	23	mit 18
20	Renault 21	89	1078	Opel Astra Car.	96	1065		9-13	11	1	0	1	58 x 54	56 x 55	63	165	102	w	17 x 24	w	14	7	mit 18
21	Ford Fiesta	88	780	Nissan Cargo	94	1500		8-13	11	1	0	1	47 x 52	60 x 53	60	165	105	mw	14 x 27	mw	11	15	
22	Audi A6	95	1565	Audi 80	93	1020	6300	6-8	7	1	0	1	51 x 54	57 x 52	60	162	102	m	16 x 25	mh	3	5	
23	Audi A6	95	1565	Audi 80	93	1020	6300	6-8	7	1	1	1	51 x 54	57 x 52	70	162	92	m	16 x 25	mh	7	7	mit 22
24	Audi A6	95	1565	Audi 80	93	1020	6300	6-8	7	1	0	1	46	63	60	160	100	m	15 x 32	mh	18	11	mit 22
25	Fiat Uno	92	755	BMW	92	1315	8800	10-14	13	0	0	1	50 x 50	57 x 50	62	165	103	mw	17 x 25	h	11	12	
26	Citroen Saxo	98	880	Suzuki Swift	95	1250	12850	13-16	15	0	0	0	50 x 51	60 x 50	60	162	102	w	15 x 24	mw	35	5	
27	Citroen Saxo	98	880	Suzuki Swift	95	1250	12850	13-16	15	0	0	1	50 x 51	60 x 50	67	162	95	w	15 x 24	mw	13	9	mit 26
28	Audi A4	97	1360	Opel Astra	95	1065	7700	5-9	7	1	1	1	51 x 52	63 x 52	64	165	101	mh	16 x 25	mh	3	9	
29	Opel Kadett Car.	91	920	Ford Transit	91	1440	10150	8-10	9	0	0	1	50 x 52	62 x 52	70	167	97	m	19 x 28	mh	15	0(-3)	Sportsitze
30	Opel Kadett Car.	91	920	Ford Transit	91	1440	10150	8-10	9	0	0	1	50 x 52	62 x 52	65	165	100	m	19 x 28	mh	4	0(-9)	mit 29
31	Rover 200	98	1060	VW Golf	89	888	4700	5-8	6	1	0	1	51x53	48x48	62	165	103	m	17x26	mh	28	5	
32	Rover 200	98	1060	VW Golf	89	888	4700	5-8	6	1	0	1	51x53	48x48	62	165	103	m	17x26	mh	14	10	mit 31

Tab 3.2: Zusammenfassung der fahrzeug- und unfallspezifischen Daten (x: keine Angabe, 1: ja, 0: nein, h: hart, m: mittel, w: weich)

#### 4 Berechnung der Geschwindigkeitsänderung $\Delta v$

Als Parameter für die biomechanische Belastung wird in dieser Studie die Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v$  des gestoßenen Fahrzeuges verwendet. Sie ist ein zwar nicht unmittelbar, aber mittelbar reproduzierbarer Parameter. Sie wird heute generell bei der rechtsmedizinischen Begutachtung derartiger Unfälle verwendet. Für die genaue Eingrenzung der Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v$  des gestoßenen Fahrzeuges sind im Prinzip Angaben über die Beschädigung an beiden Fahrzeugen notwendig. Da hier nur die Beschädigungen an den gestoßenen Fahrzeugen bekannt sind, werden verschiedene Verfahren angewandt, um dennoch die Geschwindigkeitsänderung realistisch einzugrenzen, und zwar:

- durch Vergleich mit Crashversuchen
- durch Anwendung von Energierastern
- durch das Stoßsimulationsverfahren nach SPORRER ET AL.

##### 4.1 Vergleich mit Crashversuchen

Um die Geschwindigkeitsänderung abzuschätzen wurden die Fahrzeugschäden mit Schäden an Fahrzeugen verglichen, die in standardisierten Crashversuchen im ALLIANZ-ZENTRUM FÜR TECHNIK, Ismaning für Eurotax untersucht wurden. Bei der Einstufung anhand dieser Bilder ist zu berücksichtigen, daß bei diesen Versuchen der "Unfallgegner" ein starrer, nicht verformbarer Beton–Stoßwagen ist. Der entsprechende Schaden am Fahrzeug ist damit größer als bei einem realen Unfall mit gleicher Ausgangsgeschwindigkeit. Die Crashversuche des Allianz Zentrums für Technik (AZT), Ismaning, werden mit einer konstanten Geschwindigkeit von  $v=15$  km/h durchgeführt. Dies entspricht einer  $\Delta v$  von 10 – 12 km/h bei einem realen Unfall. Deshalb ist dieses Verfahren weniger geeignet, differenzierte Aussagen zur  $\Delta v$  eines realen Unfalls zu machen.

Soweit Schadensbilder aus Crashversuchen mit Fahrzeug-Fahrzeug Kollisionen (z.B. bei FÜRBETH ET AL.) mit weiteren Angaben zum Versuch, wie z.B.  $\Delta v$ , zur Verfügung standen, wurden diese zur Validierung der nachfolgend beschriebenen Verfahren herangezogen.

## 4.2 Anwendung von Energierastern

### 4.2.1 Methodik

Bei einem Unfall wird sowohl bei dem stoßenden Fahrzeug Deformationsarbeit verrichtet ( $W_{\text{def } 2}$ ) als auch bei dem gestoßenen Auto ( $W_{\text{def } 1}$ ). Für die Energierastermethode werden die deformierten Bereiche des Fahrzeuges anhand der Fotos abgeschätzt und mit der stilisierten Aufsicht des Fahrzeuges (Energieraster: s. Abb.:4.1) verglichen. Anhand der Raster erhält man eine Auskunft über die Arbeit, die zu leisten ist, um diese Deformation bei diesem Fahrzeug zu erreichen. Dort, wo kein entsprechendes Raster zur Verfügung stand, wurden die Beschädigung mit Rastern ähnlicher Fahrzeuge ausgewertet. Über die Impulserhaltung wird nach Bestimmung der Deformationsenergie an dem gestoßenen Fahrzeug dessen  $\Delta v$  berechnet. Wo kein anwendbares Raster existiert, wurde anhand der Beschädigung die Verformungsarbeit abgeschätzt.

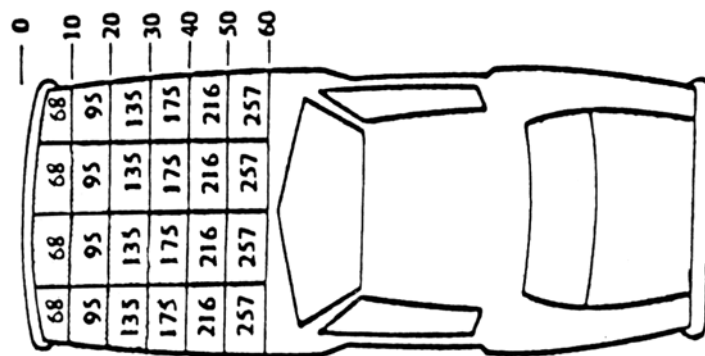


Abb. 4.1 : Energieraster [BURG UND RAU]

Zahlen am Rand: Intrusionstiefe in inch / Zahlen in Kasten: Deformationsenergie in J

Da die Deformationsenergie des stoßenden Fahrzeuges nicht bekannt ist, wurden zwei Grenzwerte für die Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v$  berechnet. Für die Bestimmung einer unteren Grenze des  $\Delta v$ -Bereiches wird angenommen, daß das stoßende Fahrzeug nicht deformiert wurde, seine Deformationsarbeit also null ist. Es wird nur die Deformationsarbeit des gestoßenen Fahrzeuges mit in die Rechnung einbezogen ( $W_{\text{def } 2}=0$ ).



Für die Bestimmung einer oberen Grenze für  $\Delta v$  wird für das stoßende Fahrzeug die gleiche Deformationsenergie angenommen, die für das gestoßene ermittelt wurde ( $W_{\text{def1}} = W_{\text{def2}}$ ). Dieser Annahme liegt zu Grunde, daß die Fahrzeuge in der Regel vorne härter sind als im Heckbereich. Damit ist bei der Paarung Front/Heck die am Heck geleistete Deformationsarbeit in der Regel größer als im Frontbereich des stoßenden Fahrzeuges.

Der Stoßfaktor  $k$  ist ein Wert für die Elastizität des Stoßes: bei  $k = 0$  handelt es sich um einen vollkommen plastischen Stoß, beide Fahrzeuge haben nach dem Stoß die gleiche Geschwindigkeit; bei  $k = 1$  ist der Stoß vollkommen elastisch; es wird keine dissipative Deformationsarbeit geleistet. Bei den vorliegenden Fällen wird mit  $k = 0,2$  und  $k = 0,3$  gerechnet.

Der Zusammenhang zwischen Deformationsenergie, Stoßfaktor, Masse der Fahrzeuge und Geschwindigkeiten ist durch folgende Formel gegeben:

$$(1) \quad \Delta E = \frac{m_{\text{sto}} \cdot m_{\text{ges}}}{2(m_{\text{sto}} + m_{\text{ges}})} (v_{\text{sto}} - v_{\text{ges}})^2 (1 - k^2)$$

Dabei gilt:

Deformationsenergie:  $\Delta E$

Geschwindigkeit des stoßenden KFZ vor Stoß:  $v_{\text{sto}}$

Geschwindigkeit des gestoßenen KFZ vor Stoß:  $v_{\text{ges}}$

Geschwindigkeit des stoßenden KFZ nach Stoß:  $v_{\text{sto}}'$

Geschwindigkeit des gestoßenen KFZ nach Stoß:  $v_{\text{ges}}' = \Delta v$

Stoßfaktor =  $k$

Masse des gestoßenen Fahrzeuges =  $m_{\text{ges}}$

Masse des stoßenden Fahrzeuges =  $m_{\text{sto}}$

Für den Fall, daß das gestoßene Fahrzeug vor dem Stoß stand, d.h.  $v_{\text{ges}} = 0$ , ergibt

sich für die Geschwindigkeit des stoßenden Fahrzeuges vor dem Stoß:

$$(2) \quad v_{\text{sto}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta E \cdot (m_{\text{sto}} + m_{\text{ges}})}{(1 - k^2) \cdot m_{\text{sto}} \cdot m_{\text{ges}}}}$$

Die Geschwindigkeit des stoßenden Fahrzeuges nach dem Stoß errechnet sich für  $v_{ges} = 0$  nach dem Impulssatz der Physik wie folgt:

$$(3) \quad v_{sto}' = \frac{(m_{sto} \cdot v_{sto} + m_{ges} \cdot (v_{ges} \cdot (k + 1) - k \cdot v_{sto}))}{m_{sto} + m_{ges}} = \frac{m_{sto} \cdot v_{sto} - m_{ges} \cdot k \cdot v_{sto}}{m_{sto} + m_{ges}}$$

Hiermit ergibt sich für die Geschwindigkeitsänderung des gestoßenen Fahrzeuges unter der Annahme, daß die Geschwindigkeit vor dem Stoß,  $v_{ges} = 0$  ist, mit  $v_{sto}$  aus Gl. (2) und  $v_{sto}'$  aus Gl.(3):

$$(4) \quad \Delta v = v_{ges}' = k \cdot (v_{sto} - v_{ges}) + v_{sto}' = k \cdot v_{sto} + v_{sto}'$$

Die Berechnung der Geschwindigkeitsänderung mit diesem Verfahren wurde im Rahmen einer Semesterarbeit durch Herrn Sebastian Eberle durchgeführt.

## 4.2.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse nach dem Energierasterverfahren sind in Tabelle 4.1 und 4.2 zusammengefasst.

Fall-nr.	PKW <sub>Gst</sub>	Masse PKW <sub>Gst</sub> [kg]	W <sub>Def1</sub> [J]	PKW <sub>Sto</sub>	Masse PKW <sub>Sto</sub> [kg]	$\Delta v$ für W <sub>Def2</sub> = 0 [km/h]	$\Delta v$ für W <sub>Def2</sub> = W <sub>Def1</sub> [km/h]
1	Mercedes 200 D Bj.85	1110	28500	Fiat Tipo Bj.96	990	21,69	30,68
2	Audi 100 Bj.90	1400	2100	VW Golf 2 GTI	928	4,82	6,22
3	Lancia Dedra Bj.91	1100	3000	Opel Rekord	1395	7,70	9
4+5	VW Golf 2 Bj.85	928	4728	Audi A 3 Bj.97	1140	10,45	11,43
6	Audi 80 Bj.80	950	4200	Fiat Uno	755	8,72	9,66
7+8	Opel Vectra Bj.91	1090	3545	Mercedes C180 Bj.95	1350	9,38	10,73
9	VW Passat Bj.91	1155	670	Audi 80 Bj.89	1020	3,83	6,33
10+11	BMW 320 Bj.96	1360	735	Mercedes 200 D Bj.84	1375	3,25	4,6
12	Nissan Sunny Bj.95	1115	1600	Opel Kadett Bj.90	900	4,99	7,06
13	Citroen AX Bj.91	720	1500	Opel Vectra Bj.94	1200	7,12	8,66
14	Audi A 8 Bj.96	1825	5000	Toyota RAV 4 Bj.96	1150	6,42	7,5
15	VW Golf 3 Bj.95	1150	3475	Rover Range Rover Bj.98	2100	8,71	10,05
16	Audi 80 Bj.90	1050	1600	VW Golf 2 Bj.87	888	5,21	6,71
17	Opel Astra Caravan Bj.96	1065	1500	Audi 80 Bj.90	1050	5,21	7,37
18+19 +20	Renault 21 Nevada Bj.89	1078	2400	Opel Astra Caravan Bj.95	1065	6,56	9,28
21	Ford Fiesta Bj.88	750	2100	Nissan Cargo Bj.93	1500	8,52	12,05
22+23 +24	Audi A 6 Bj.95	1565	1470	Audi 80 Bj.89	1020	5,68	8,16
25	Fiat Uno Bj.92	755	1200	BMW 3er Bj.92	1315	6,27	8
26+27	Citroen Saxo Bj.98	880	2500	Suzuki Swift Bj.95	1250	8,05	9,36
28	Audi A 4 Avant Bj.97	1360	1500	Opel Astra Caravan Bj.97	1065	4,34	6,14
29+30	Opel Kadett Caravan Bj.91	920	2610	Ford Transit Bj.91	1440	8,20	9,54
31+32	Rover 200 RF Bj.98	1060	1000	VW Golf 3	1150	4,37	6,18

Tab. 4.1: Berechnung von  $\Delta v$  nach dem Energierasterverfahren mit Stoßfaktor  $k = 0,2$

Fall-nr.	PKW <sub>Gst</sub>	Masse PKW <sub>Gst</sub> [kg]	W <sub>Def1</sub> [J]	PKW <sub>Sto</sub>	Masse PKW <sub>Sto</sub> [kg]	$\Delta v$ für W <sub>Def2</sub> = 0 [km/h]	$\Delta v$ für W <sub>Def2</sub> = W <sub>Def1</sub> [km/h]
1	Mercedes 200 D Bj.85	1110	28500	Fiat Tipo Bj.96	990	24,14	34,14
2	Audi 100 Bj.90	1400	2100	VW Golf 2 GTI	928	5,36	6,93
3	Lancia Dedra Bj.91	1100	3000	Opel Rekord	1395	8,57	10,02
4+5	VW Golf 2 Bj.85	928	4728	Audi A 3 Bj.97	1140	11,63	12,72
6	Audi 80 Bj.80	950	4200	Fiat Uno	755	9,71	10,75
7+8	Opel Vectra Bj.91	1090	3545	Mercedes C180 Bj.95	1350	10,44	11,94
9	VW Passat Bj.91	1155	670	Audi 80 Bj.89	1020	4,27	7,04
10+11	BMW 320 Bj.96	1360	735	Mercedes 200 D Bj.84	1375	3,62	5,11
12	Nissan Sunny Bj.95	1115	1600	Opel Kadett Bj.90	900	5,55	7,86
13	Citroen AX Bj.91	720	1500	Opel Vectra Bj.94	1200	7,92	9,63
14	Audi A 8 Bj.96	1825	5000	Toyota RAV 4 Bj.96	1150	7,14	8,34
15	VW Golf 3 Bj.95	1150	3475	Rover Range Rover Bj.98	2100	9,69	11,18
16	Audi 80 Bj.90	1050	1600	VW Golf 2 Bj.87	888	5,80	7,46
17	Opel Astra Caravan Bj.96	1065	1500	Audi 80 Bj.90	1050	5,80	8,20
18+19 +20	Renault 21 Nevada Bj.89	1078	2400	Opel Astra Caravan Bj.95	1065	7,30	10,32
21	Ford Fiesta Bj.88	750	2100	Nissan Cargo Bj.93	1500	9,48	13,41
22+23 +24	Audi A 6 Bj.95	1565	1470	Audi 80 Bj.89	1020	6,32	9,08
25	Fiat Uno Bj.92	755	1200	BMW 3er Bj.92	1315	6,97	8,90
26+27	Citroen Saxo Bj.98	880	2500	Suzuki Swift Bj.95	1250	8,96	10,42
28	Audi A 4 Avant Bj.97	1360	1500	Opel Astra Caravan Bj.97	1065	4,83	6,83
29+30	Opel Kadett Caravan Bj.91	920	2610	Ford Transit Bj.91	1440	9,13	10,62
31+32	Rover 200 RF Bj.98	1060	1000	VW Golf 3	1150	4,86	6,87

Tab.4.2: Berechnung von  $\Delta v$  nach dem Energierasterverfahren mit Stoßfaktor  $k = 0,3$

### 4.3 Stoßsimulationsverfahren nach Sporrer et al.

#### 4.3.1 Methodik

SPORRER ET AL. haben ein Computerprogramm vorgestellt, das über ein iteratives Verfahren nach Eingabe der Massen der Fahrzeuge, der Geschwindigkeiten vor dem Stoß, der Kontaktzeit und des Stoßfaktors folgende Größen errechnet : die Geschwindigkeitsänderung der Fahrzeuge, die maximale Intrusion, die mittlere und maximale Kontaktkraft und die Deformationsenergie. Die Geschwindigkeit des gestoßenen Fahrzeuges vor dem Stoß wird mit 0 km/h angenommen. Durch Veränderung der Stoßgeschwindigkeiten werden die genannten Parameter bestimmt. Durch Abgleich der errechneten Parameter Intrusionstiefe und Kontaktkraft mit den tatsächlichen Beschädigungen wird ein wahrscheinlicher Wert für die Geschwindigkeitsänderung angegeben.

Um das Programm zu validieren, wurden Ergebnisse aus Crash – Versuchen von FÜRBETH ET AL. mit diesem Computerprogramm nachgerechnet. Die Intrusionstiefe und die Stoßzeit (  $0,11 \text{ s} < t < 0,15 \text{ s}$  ) waren bekannt. Der Stoßfaktor  $k$  wurde zwischen 0,1 und 0,3 variiert. Hierbei zeigte sich, daß bei  $k$ -Werten zwischen 0,1 und 0,2 die gemessenen Werte von Fürbeth reproduzierbar waren (Tabelle 4.3). Deshalb wird für die weitere Berechnung  $k$  zwischen 0,15 und 0,3 und die Stoßzeit mit 0,12 s angenommen.

Fall	Fahrzeug 1	Masse 1 [kg]	Fahrzeug 2	Masse 2 [kg]	tstoß [s]	k	$\Delta v$ errechnet [km/h]	$\Delta v$ vorgegeben [km/h]
k 01	VW Passat	860	VW Golf I	780	0,12	0,2	11,33	11,4
k 01	VW Passat	860	VW Golf I	780	0,12	0,3	12,27	11,4
k 02	VW Passat	860	VW Golf I	780	0,12	0,24	10,4	10,4
k 02	VW Passat	860	VW Golf I	780	0,12	0,3	10,91	10,4
k 05	VW Golf I	780	VW Golf II	900	0,11	0,1	7,66	7,6
k 05	VW Golf I	780	VW Golf II	900	0,11	0,2	8,36	7,6
k 05	VW Golf I	780	VW Golf II	900	0,11	0,3	9,05	7,6
k 06	VW Golf I	780	VW Golf II	900	0,11	0,18	8,77	8,8
k 06	VW Golf I	780	VW Golf II	900	0,11	0,2	8,91	8,8
k 06	VW Golf I	780	VW Golf II	900	0,11	0,3	9,66	8,8
e 11	Ford Sierra L	1010	Opel Senator	1370	0,15	0,17	8,44	8,4
e 11	Ford Sierra L	1010	Opel Senator	1370	0,15	0,2	8,66	8,4
e 11	Ford Sierra L	1010	Opel Senator	1370	0,15	0,3	9,38	8,4

Tab.: 4.3 Vergleich der computerberechneten  $\Delta v$ -Werte mit den beobachteten Werten für die Crashversuche von FÜRBETH ET AL.

### 4.3.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Computerberechnung nach SPORRER ET AL. sind in Tabelle 4.4 dargestellt:

Fall-nr.	m1	m2	v1	$\Delta v$	t	k	s	mKK	Wdef	X	Unfallgegner	Aus-schluss
1	990	1110	32,7	20,04	0,12	0,3	0,55	51493	19644	=	Fiat Tipo>Mercedes 190 D	
1	990	1110	30,0	18,39	0,12	0,3	0,50	47241	16534	=	Fiat Tipo>Mercedes 190 D	
1	990	1110	26,5	14,37	0,12	0,2	0,50	36915	13858	=	Fiat Tipo>Mercedes 190 D	
1	990	1110	24,0	13,01	0,12	0,2	0,46	33432	11367	>=	Fiat Tipo>Mercedes 190 D	
1	990	1110	18,5	10,03	0,12	0,2	0,35	25771	6754	>	Fiat Tipo>Mercedes 190 D	s,K
3	1395	1100	20,6	14,97	0,12	0,3	0,35	38126	9163	<	Opel Rekord> Lancia Dedra	W,K,s
3	1395	1100	18,0	13,08	0,12	0,3	0,30	33314	6996	<=	Opel Rekord> Lancia Dedra	
3	1395	1100	14,0	10,18	0,12	0,3	0,23	25911	4232	=	Opel Rekord> Lancia Dedra	
3	1395	1100	12,0	8,05	0,12	0,2	0,22	20501	3280	=	Opel Rekord> Lancia Dedra	
4	1140	928	21,0	15,05	0,12	0,3	0,35	32328	7920	<	Audi A3>Golf II	s
4	1140	928	19,0	12,57	0,12	0,2	0,35	26999	6840	=	Audi A3>Golf II	
4	1140	928	15,0	9,92	0,12	0,2	0,27	21315	4263	>=	Audi A3>Golf II	
6	755	950	22,5	12,95	0,12	0,3	0,38	28483	7477	<	Fiat Uno> Audi 80	W,K,s
6	755	950	18,0	10,36	0,12	0,3	0,30	22787	4785	<=	Fiat Uno> Audi 80	
6	755	950	16,5	8,77	0,12	0,2	0,30	19281	4242	=	Fiat Uno> Audi 80	
6	755	950	16,0	8,15	0,12	0,2	0,30	17918	4061	=	Fiat Uno> Audi 80	
7	1350	1090	21,0	15,10	0,12	0,3	0,35	38111	9337	<	MB C180>Opel Vectra	W,K
7	1350	1090	18,0	12,95	0,12	0,3	0,30	32666	6860	<=	MB C180>Opel Vectra	
7	1350	1090	16,5	10,95	0,12	0,2	0,30	27641	6081	=	MB C180>Opel Vectra	
7	1350	1090	15,8	10,05	0,12	0,2	0,30	25365	5678	>	MB C180>Opel Vectra	K
9	1020	1155	16,5	10,06	0,12	0,3	0,28	26895	5177	<	Audi 80>VW Passat	K,W
9	1020	1155	12,0	7,32	0,12	0,3	0,20	19560	2738	=	Audi 80>VW Passat	
9	1020	1155	10,5	5,66	0,12	0,2	0,20	15140	2252	=	Audi 80>VW Passat	
10	1375	1360	15,5	10,13	0,12	0,3	0,26	31892	5767	<	MB W123>BMW 320	W,K,s
10	1375	1360	12,0	7,84	0,12	0,3	0,20	24690	3457	=	MB W123>BMW 320	
10	1375	1360	10,5	6,07	0,12	0,2	0,20	19111	2843	=	MB W123>BMW 320	
13	1100	720	16,5	12,96	0,12	0,3	0,28	21607	4159	<	Opel Vectra>Citroen Ax	K,W,s
13	1100	720	13,0	10,21	0,12	0,3	0,22	17024	2582	=	Opel Vectra>Citroen Ax	
13	1100	720	11,5	7,99	0,12	0,2	0,22	13322	2170	=	Opel Vectra>Citroen Ax	
14	1150	1825	28,0	12,99	0,12	0,2	0,51	54869	20485	<	Toyota RAV4>AudiA8	K,W,s
14	1150	1825	22,0	10,21	0,12	0,2	0,40	43112	12646	<=	Toyota RAV4>AudiA8	K,W
14	1150	1825	21,5	9,97	0,12	0,2	0,39	42132	12078	=	Toyota RAV4>AudiA8	
14	1150	1825	21,0	9,34	0,12	0,2	0,40	39437	11733	=	Toyota RAV4>AudiA8	
14	1150	1825	20,0	8,50	0,12	0,1	0,40	35926	10778	=	Toyota RAV4>AudiA8	

Tab. 4.4: Computerberechnung der  $\Delta v$  : m1= Masse des Stoßenden [kg], m2=Masse des Gestoßenen [kg], v1=Stoßgeschwindigkeit [km/h], t= Stoßzeit [s], k=Stoßfaktor, s=Intrusion [cm],mKK=mittlere Kontaktkraft [N],Wdef=Deformationarbeit [J],X=s. Text

Fall-nr.	m1	m2	v1	$\Delta v$	t	k	s	mKK	Wdef	X	Unfallgegner	Ausschluss
15	2100	1150	17,8	14,95	0,12	0,3	0,30	39803	8266	<	Land Rover>VW Golf3	K,W
15	2100	1150	15,5	13,02	0,12	0,3	0,26	34660	6268	<=	Land Rover>VW Golf3	
15	2100	1150	12,0	10,08	0,12	0,3	0,20	26833	3757	=	Land Rover>VW Golf3	
15	2100	1150	11,0	8,53	0,12	0,2	0,20	22705	3330	=	Land Rover>VW Golf3	
16	888	1050	16,5	9,83	0,12	0,3	0,28	23889	4599	<	VW Golf II> Audi 80	W,s
16	888	1050	10,0	5,96	0,12	0,3	0,17	14478	1689	=	VW Golf II> Audi 80	
16	888	1050	9,5	5,22	0,12	0,2	0,17	12696	1608	=	VW Golf II> Audi 80	
17	1050	1065	15,5	10,00	0,12	0,3	0,26	24662	4460	<	Audi 80>Opel Astra Carav.	s,k
17	1050	1065	11,0	7,10	0,12	0,3	0,18	17502	2246	=	Audi 80>Opel Astra Carav.	
17	1050	1065	10,0	5,96	0,12	0,2	0,18	14687	1958	=	Audi 80>Opel Astra Carav.	
18	1065	1078	23,2	14,99	0,12	0,3	0,39	37402	10123	<	Opel Astra Car.>Renault 21	k,s,K
18	1065	1078	20,1	12,99	0,12	0,3	0,34	32404	7599	<=	Opel Astra Car.>Renault 21	
18	1065	1078	19,0	12,28	0,12	0,3	0,32	30631	6790	=	Opel Astra Car.>Renault 21	
18	1065	1078	17,0	9,72	0,12	0,2	0,32	24244	5839	=	Opel Astra Car.>Renault 21	
21	1500	750	17,3	14,99	0,12	0,3	0,29	26030	5254	<	Nissan Cargo>Ford Fiesta	k,s,K
21	1500	750	15,0	13,00	0,12	0,3	0,25	22569	3950	<=	Nissan Cargo>Ford Fiesta	
21	1500	750	13,0	11,27	0,12	0,3	0,22	19560	2967	=	Nissan Cargo>Ford Fiesta	
21	1500	750	11,5	8,82	0,12	0,2	0,22	15307	2494	=	Nissan Cargo>Ford Fiesta	
22	1020	1565	20,0	10,26	0,12	0,3	0,34	37166	8672	<	Audi 80 > Audi A6	W,s,K
22	1020	1565	12,0	6,16	0,12	0,3	0,20	22299	3122	=	Audi 80 > Audi A6	
22	1020	1565	11,0	5,21	0,12	0,2	0,20	18869	2767	=	Audi 80 > Audi A6	
25	1315	755	18,9	15,01	0,12	0,3	0,33	26230	6197	<	BMW 3xx > Fiat Uno	K,s
25	1315	755	16,0	12,71	0,12	0,3	0,28	22205	4441	=	BMW 3xx > Fiat Uno	
25	1315	755	15,0	10,96	0,12	0,2	0,28	19152	4070	=	BMW 3xx > Fiat Uno	
26	1250	880	23,0	17,55	0,12	0,3	0,39	35744	9591	<	Suzuki Swift> Citroen Saxo	K,W
26	1250	880	21,0	16,02	0,12	0,3	0,35	32636	7996	<=	Suzuki Swift> Citroen Saxo	
26	1250	880	19,0	13,38	0,12	0,2	0,35	27256	6905	=	Suzuki Swift> Citroen Saxo	
26	1250	880	20,0	12,91	0,12	0,1	0,40	26300	7890	>=	Suzuki Swift> Citroen Saxo	
26	1250	880	15,5	10,01	0,12	0,1	0,31	20382	4739	>	Suzuki Swift> Citroen Saxo	K
28	1065	1360	17,5	9,99	0,12	0,3	0,29	31454	6422	<	Opel Astra Ca.>Audi A4 Av.	s,k
28	1065	1360	12,0	6,85	0,12	0,3	0,20	21568	3020	=	Opel Astra Ca.>Audi A4 Av.	
28	1065	1360	11,0	5,80	0,12	0,2	0,20	18250	2677	=	Opel Astra Ca.>Audi A4 Av.	
29	1440	920	16,4	13,01	0,12	0,3	0,27	27704	5301	<	Ford Transit>Opel Kadett	K,s,W
29	1440	920	12,7	10,07	0,12	0,3	0,21	21454	3179	<=	Ford Transit>Opel Kadett	
29	1440	920	12,0	9,52	0,12	0,3	0,20	20271	2838	=	Ford Transit>Opel Kadett	
29	1440	920	11,0	8,05	0,12	0,2	0,20	17153	2516	=	Ford Transit>Opel Kadett	
31	1150	1060	14,8	10,01	0,12	0,3	0,25	24566	4242	<	VW Golf III>Rover 200	K,s
31	1150	1060	9,0	6,09	0,12	0,3	0,15	14939	1569	=	VW Golf III>Rover 200	
31	1150	1060	8,0	5,00	0,12	0,2	0,15	12257	1307	=	VW Golf III>Rover 200	

Tab. 4.4: Computerberechnung der  $\Delta v$  : m1= Masse des Stoßenden [kg], m2=Masse des Gestoßenen [kg], v1=Stoßgeschwindigkeit [km/h], t= Stoßzeit [s], k=Stoßfaktor, s=Intrusion [cm],mKK=mittlere Kontaktkraft [N],Wdef=Deformationarbeit [J],X=s. Text

Erläuterung zur Tabelle 4.4: Jede Zeile entspricht einem errechneten Stoß. Wenn die Parameter mittlere Kontaktkraft (mKK), Deformationsarbeit ( $W_{def}$ ) und Intrusionstiefe (s) im realistischen Bereich liegen, wird diese Zeile als realistisch gekennzeichnet: Spalte X mit =. Liegen diese Parameter durch Vergleich mit den Unfalldaten außerhalb eines realistischen Bereichs wird diese Zeile ausgeschlossen, wobei in der Spalte X entweder ein < für errechnete  $\Delta v$  zu hoch oder ein > für  $\Delta v$  zu niedrig steht. Das, bzw. die Parameter die zum Ausschluss geführt haben sind in der Spalte Ausschluss aufgeführt.

#### 4.4 Realistische Geschwindigkeitsänderung

In Tabelle 4.5 sind die mit den verschiedenen Methoden geschätzten  $\Delta v$ -Werte zusammengestellt. Durch den Vergleich der mit diesen beiden Verfahren bestimmten Werte wird ein für realistisch angesehener Bereich für die Geschwindigkeitsänderung angegeben. Hierbei wird die Energierastermethode weniger stark berücksichtigt, da sich in der Praxis eine Überlegenheit des Verfahrens nach SPORRER ET AL. zeigte. Für vier Fälle, in denen ein Fahrzeug der Marke AUDI angefahren wurde, schätzte auch die Abteilung für Unfallforschung der AUDI AG, Ingoldstadt, die Schwere des Unfalls ab und bestätigte die Ergebnisse.

Der angegebene Bereich für  $\Delta v$  ist nicht vollständig fehlerfrei; so ist bei gebremsten, gestoßenen Fahrzeugen der angegebene Wert für die Geschwindigkeitsänderung als zu hoch anzusehen.

Für die weitere Auswertung wurde für jeden Unfall ein als realistisch angenommener  $\Delta v$ -Wert angegeben, der in der Tabelle 4.5 aufgeführt ist.



Fallnr.	Energierasterverfahren und $k = 0,2$		Energierasterverfahren und $k = 0,3$		Stoßsimulationsverfahren	Realistischer Wert
	$\Delta v$ für Wdef2 = 0 [km/h]	$\Delta v$ für Wdef2 = Wdef1 [km/h]	$\Delta v$ für Wdef2 = 0 [km/h]	$\Delta v$ für Wdef2 = Wdef1 [km/h]	realistischer $\Delta v$ Bereich [km/h]	für Auswertung [km/h]
1	21,69	30,68	24,14	34,14	13-20	17
2	4,82	6,22	5,36	6,93	nicht berechnet	nicht berechnet
3	7,70	9,00	8,57	10,02	8-13	10
4+5	10,45	11,43	11,63	12,72	11-15	13
6	8,72	9,66	9,71	10,75	8-13	10
7+8	9,38	10,73	10,44	11,94	11-13	11
9	3,83	6,33	4,27	7,04	6-8	7
10+11	3,25	4,60	3,62	5,11	6-8	7
12	4,99	7,06	5,55	7,86	5-10	7
13	7,12	8,66	7,92	9,63	8-12	10
14	6,42	7,50	7,14	8,34	9-12	10
15	8,71	10,05	9,69	11,18	8-12	10
16	5,21	6,71	5,80	7,46	6-9	8
17	5,21	7,37	5,80	8,20	6-9	8
18+19+20	6,56	9,28	7,30	10,32	9-13	11
21	8,52	12,05	9,48	13,41	8-13	11
22+23+24	5,68	8,16	6,32	9,08	6-8	7
25	6,27	8,00	6,97	8,90	10-14	13
26+27	8,05	9,36	8,96	10,42	13-16	15
28	4,34	6,14	4,83	6,83	5-9	7
29+30	8,20	9,54	9,13	10,62	8-10	9
31+32	4,37	6,18	4,86	6,87	5-8	6

Tab. 4.5: Vergleich der  $\Delta v$ -Berechnung mit Energierasterverfahren ( $k=0,2$  und  $k=0,3$ ) und Stoßsimulationsverfahren; in der letzten Spalte der  $\Delta v$ -Wert mit dem die Auswertung durchgeführt wurde.

## 5 Ergebnisse

In der vorliegenden Studie wurden die Daten von 32 Probanden aus 22 Unfällen ausgewertet. Da in einem Fall (Nr.: 2) die Schadensbilder nicht zueinander paßten, wurde in diesem Fall auf eine Auswertung nach  $\Delta v$  verzichtet. Bei Ergebnissen, bei denen nach  $\Delta v$  ausgewertet wurde, ergibt sich somit eine Gesamtsumme der Probanden von 31, in allen anderen Ergebnissen von 32.

### 5.1 Geschwindigkeitsänderung $\Delta v$

#### 5.1.1 Verteilung der Geschwindigkeitsänderung $\Delta v$

In dieser Studie ist 6 km/h der niedrigste und 17 km/h der höchste wahrscheinliche  $\Delta v$ -Wert. Zum aktuellen Zeitpunkt werden für die verletzungsmechanische Begutachtung nach Heckaufprall Grenzwerte von 10 km/h und 13km/h für  $\Delta v$  hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit einer HWS-Verletzung diskutiert. Einige Gutachter gehen davon aus, daß ab 13 km/h HWS-Verletzungen nicht ausgeschlossen werden können, andere sehen diese Grenze bereits bei 10 km/h. Mattern geht sogar davon aus, daß bereits unterhalb von 10 km/h es zu HWS – Verletzungen kommen kann [KAATSCH].

Deshalb werden die untersuchten Fälle in drei Gruppen eingeteilt: 6 – 9 km/h, 10 - 12 km/h und 13 - 17km/h. In Tabelle 5.1 sind Minimal-, Maximal- und Mittelwerte der Parameter Alter, Größe und Geschlecht (männlich=1, weiblich=2) in den verschiedenen  $\Delta v$ -Gruppen dargestellt. Es kann bei verständiger Betrachtung davon ausgegangen werden, daß sich die drei Gruppen hinsichtlich dieser Parameter nicht unterscheiden. Aufgrund der geringen Fallzahlen erscheint eine statistische Prüfung nicht sinnvoll.

			Minimum	Mittelwert	Maximum	Anzahl
$\Delta v$ -Gruppen [km/h]	06-09	Alter	19	39	66	14
		Körperlänge	149	168	187	14
		Geschlecht	1	1,5	2	14
	10-12	Alter	17	37	62	11
		Körperlänge	156	169	183	11
		Geschlecht	1	1,6	2	11
	13-17	Alter	20	37	57	6
		Körperlänge	156	172	185	6
		Geschlecht	1	1,5	2	6
Gesamtwert für $\Delta v$ 6-17 km/h		Alter	17	38	66	31
		Körperlänge	149	170	187	31
		Geschlecht	1	1,5	2	31

Tab.:5.1: Alters-, Größen- und Geschlechtsverteilung in den  $\Delta v$ -Gruppen

44% der Personen erlitten Unfälle im  $\Delta v$ -Bereich von 6 bis 9 km/h. Das heißt zumindest, daß bereits in diesem Geschwindigkeitsbereich ein Arzt wegen Beschwerden aufgesucht wurde.

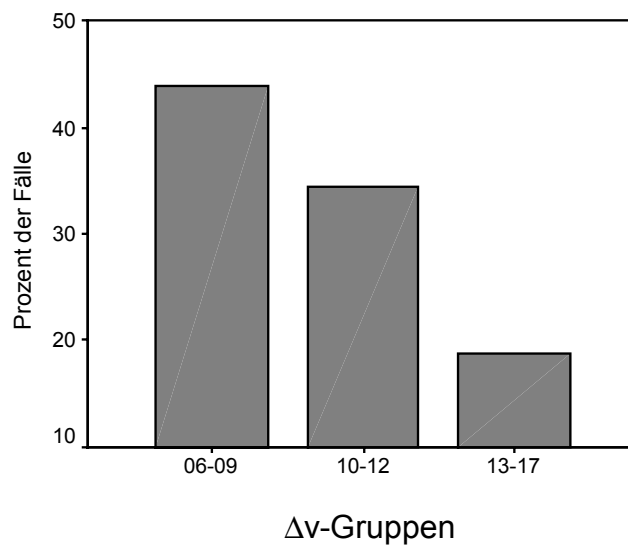


Abb.:5.1: Verteilung der  $\Delta v$ -Gruppen

### 5.1.2 Kopfschmerzen und $\Delta v$

Sowohl aus der Befragung der Patienten wie auch aus den Angaben der Krankenhäuser ließ sich entnehmen, ob die Patienten nach dem Unfall an Kopfschmerzen litten. In 7 Fällen lagen hierzu keine Angaben vor. In Abbildung 5.2 wurde die Angabe über das Auftreten von Kopfschmerzen mit der Geschwindigkeitsänderung des Fahrzeuges in Beziehung gesetzt. Es zeigt sich, daß die Fahrzeuge der Personen, die über Kopfschmerzen klagten, im Mittel eine höhere  $\Delta v$  erfahren hatten als die Fahrzeuge der Personen ohne Schmerzen.

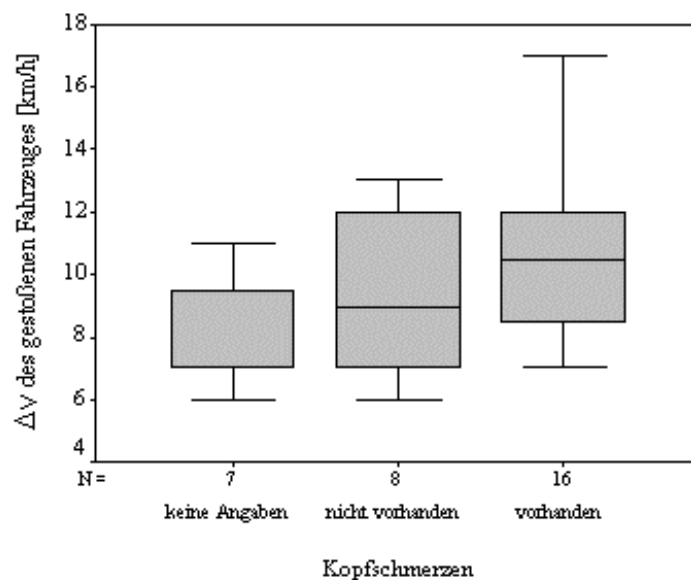


Abb. 5.2: Boxplot der Geschwindigkeitsänderung in den verschiedenen Kopfschmerz-Gruppen

### 5.1.3 Baujahr der Fahrzeuge und $\Delta v$

In Abbildung 5.3 sind die Baujahre der gestoßenen Fahrzeuge gegen  $\Delta v$  aufgetragen. Es zeigt sich, daß im niedrigen Geschwindigkeitsbereich zwischen 6 und 9 km/h ausschließlich jüngere Fahrzeuge, d.h. ab Baujahr 1990 zu finden sind.

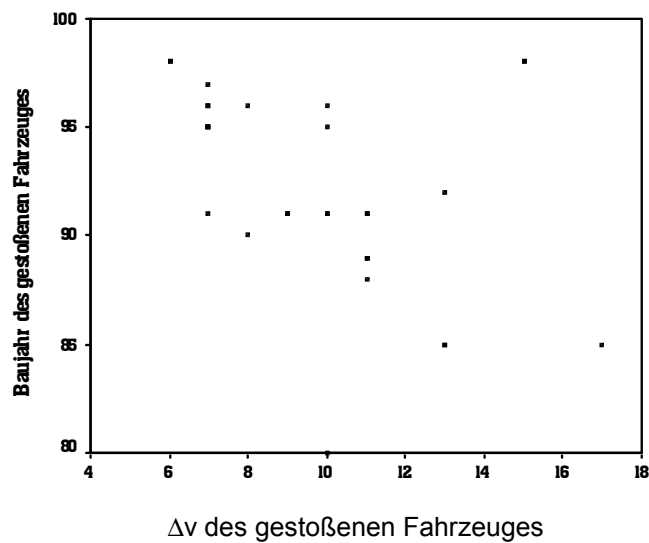


Abb. 5.3: Baujahr des gestoßenen Fahrzeuges gegen die Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v$  aufgetragen

Eine mögliche Erklärung hierfür wäre ein systematischer Fehler in der Berechnung der  $\Delta v$ , die wegen der geringeren sichtbaren Schäden bei neueren Fahrzeugen als zu niedrig eingestuft wurde. Um dies auszuschließen, wurden der unfallanalytischen Abteilung der AUDI AG die Beschädigungen von vier Fahrzeugen der Marke AUDI in diesem Bereich ( $\Delta v$  unter 10 km/h und Baujahr 1990 oder jünger ) vorgelegt. Dort wurden die  $\Delta v$ -Berechnungen bestätigt.

#### 5.1.4 Schadenssumme und $\Delta v$

Von 22 untersuchten Unfällen liegen bei 17 Schadensgutachten mit Angaben zur Schadenssumme (Reparaturwert) des gestoßenen Fahrzeuges vor. In Diagramm 5.4 ist diese Schadenssumme über den  $\Delta v$ -Werten aufgetragen. In dieser Studie liegen die entstandenen Schäden zwischen 4.700 DM und 17.800 DM. Der entstandene Schaden steigt bei zunehmender  $\Delta v$  an. Allerdings ist die Streuung groß.

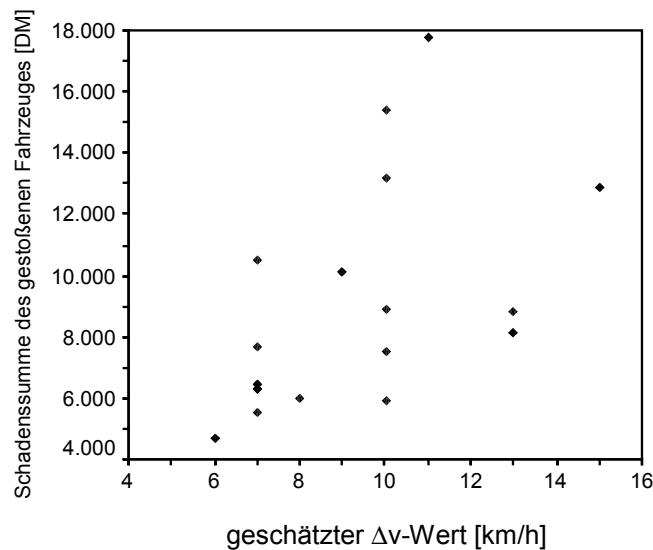


Abb. 5.4: Schadenssumme des gestoßenen Fahrzeuges in Abhängigkeit der Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v$

Ein Rückschluß aus der Schadenssumme auf den  $\Delta v$ -Bereich ist daher nicht möglich. Wenn z.B. ein steifes Karosserieteil getroffen wird, entsteht bei einem hohen  $\Delta v$  nur ein geringer Schaden. Andererseits kann ein verletzungsmechanisch irrelevanter Lackschaden bereits zu hohen Kosten führen.

## 5.2 Beschwerden der Patienten

### 5.2.1 Befunderhebung

Im Rahmen dieser Studie wurde die diagnostische Befunderhebung der teilnehmenden Krankenhäuser, dokumentiert in den Krankenunterlagen, untersucht. In fünf Fällen waren keine Krankenunterlagen auswertbar, da die Insassen keinen Arzt aufsuchten oder die Unterlagen nicht vorlagen. Hier stehen nur die Angaben der Patienten zur Verfügung. In Tabelle 5.2 ist eine Übersicht der dokumentierten Untersuchungen dargestellt. Ein „x“ bedeutet, daß diese Untersuchung dokumentiert wurde. Die Ergebnissen der Untersuchung sind aus Tabelle 3.1 zu ersehen. In Tabelle 5.2 ist auch die Diagnose und die Verschreibung einer Schanz'schen Krawatte dargestellt.

Fallnummer	Diagnose	Hartspann	Beweglichkeit	Neurologische Defizite	Druckschmerz	Kopfschmerz	Vegetative Defizite	Röntgen 2 Ebenen	Röntgen Densaufnahme	Röntgen Funktionsaufnahmen	Steilstellung der HWS	Schanzschke Krawatte
1	HWS-Schleudertrauma	x	x	x	x			x			x	x
2	unverletzt											
3	HWS-Distorsion	x		x		x	x	x			x	x
4	HWS-Schleudertrauma		x	x	x			x			x	x
5	HWS-Distorsion		x	x	x			x			x	x
6	HWS-Distorsion Grad 1	x	x					x			x	x
7	HWS-Zerrung Grad 1			x	x	x	x	x	x		x	x
8	HWS-Zerrung Grad 1	x		x				x				x
9	HWS-Schleudertrauma	x	x	x	x	x	x	x			x	x
10	Verstauchung der HWS	x	x		x			x				
11	HWS-Distorsion	x	x	x	x			x			x	
12	HWS-Distorsion Grad 1		x	x				x			x	x
13	HWS-Zerrung Grad 1	x		x		x	x	x			x	x
14												
15	HWS-Distorsion n. Erdmann Grad 1		x	x	x	x	x	x	x	x		x
16	HWS-Distorsion n. Erdmann Grad 1-2		x	x	x			x	x	x		x
17	HWS-Distorsion n. Erdmann Grad 1		x	x				x		x		
18	HWS-Distorsion n. Erdmann Grad 1			x	x	x	x	x			x	x
19	HWS-Distorsion		x	x				x	x			
20	HWS-Distorsion n. Erdmann Grad 0-1				x	x	x	x				
21	HWS-Distorsion n. Erdmann Grad 1		x	x	x	x		x	x		x	x
22												
23	HWS-Distorsion n. Erdmann Grad 1-2	x	x	x		x		x	x	x	x	x
24	HWS-Distorsion n. Erdmann Grad 1	x		x		x	x	x	x	x	x	x
25	HWS-Distorsion n. Erdmann Grad 1				x	x	x	x				
26	HWS-Distorsionstrauma	x	x	x	x			x			x	x

Fallnummer	Diagnose	Hartspann	Beweglichkeit	neurologische Defizite	Druckschmerz	Kopfschmerz	Vegetative Defizite	Röntgen 2 Ebenen	Röntgen Densaufnahme	Röntgen Funktionsaufnahmen	Steilstellung der HWS	Schanz'sche Krawatte
27	HWS-Distorsionstrauma	x	x	x	x			x			x	x
28	HWS-Distorsion n. Erdmann Grad 2			x	x	x	x	x	x	x		x
29	HWS-Distorsion n. Erdmann Grad 2	x		x	x	x	x	x	x			x
30												
31	Aufrüttelung der HWS durch Schleudertrauma bei Verkehrsunfall	x	x	x	x			x				x
32												
<b>Zahl der dokument. Befunde</b>		<b>14</b>	<b>17</b>	<b>23</b>	<b>18</b>	<b>13</b>	<b>11</b>	<b>27</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>16</b>	<b>21</b>
<b>davon positiv</b>		<b>10</b>	<b>11</b>	<b>2</b>	<b>18</b>	<b>12</b>	<b>7</b>				<b>16</b>	

Tabelle 5.2: Übersicht der dokumentierten Befunde im Rahmen der Untersuchung durch den Arzt, der Diagnose und der Verordnung einer Schanz'schen Krawatte, x= wurde dokumentiert

Im Rahmen der manuellen Befunderhebung wurden folgende Untersuchungen dokumentiert (bezogen auf alle untersuchten Patienten): Hartspann in 52% der Fälle, Beweglichkeit der HWS in 63 % der Fälle, der Druckschmerz im Bereich der HWS oder der Muskelansätze in 66% der Fälle und neurologische Defizite in 85% der Fälle.

Bei der Erhebung der Anamnese wurden in 48% Fragen nach dem Kopfschmerz und in 41% Fragen nach vegetativen Defiziten aufgezeichnet.

Bei der radiologischen Untersuchung wurde in allen Fällen die HWS in zwei Ebenen geröntgt. Die Densaufnahme zum Ausschluß einer Fraktur wurde in 33% der Fälle und Funktionsaufnahmen in 22% der Fälle durchgeführt. In 59% wurde eine Steilstellung der HWS beschrieben.

Die Diagnosen reichen von HWS-Distorsion über HWS-Schleudertrauma bis zu Stauchung und Zerrung der HWS. Zur Therapie wurde neben Schmerzmitteln (hauptsächlich Diclofenac als Dragee oder Emulgel) in 77% eine Schanz'sche Krawatte verordnet.



### 5.2.2 Klassifizierung nach QTF

Die Beschwerden der 32 Personen im Bereich der HWS werden nach der QTF-Klassifikation eingeteilt. Andere Beschwerden, wie Kopfschmerzen, vegetative Störungen oder LWS – Schmerzen gehen nicht in diese Klassifikation ein.

Nach dieser Einteilung fanden sich in der Klasse:

QTF 0 : 2 Personen

QTF 1 : 10 Personen

QTF 2 : 18 Personen

QTF 3 : 2 Personen

Damit klagten 90% über Beschwerden, die QTF 1 oder 2 entsprechen.

In der Tabelle 5.3 sind die vier QTF-Klassen hinsichtlich Alter, Größe und Geschlecht untersucht. Nur die Klassen 1 und 2 sind interpretierbar mit 10 bzw. 18 Personen besetzt. In der QTF-Klasse 2 liegt das durchschnittliche Alter mit 42 Jahren deutlich höher als in der Klasse 1 ( 31 Jahre).

			Minimum	Mittelwert	Maximum	Anzahl
Verletzung nach QTF	0	ALTER	28	37	45	2
		GRÖßE	163,00	174,50	186,00	2
		GESCHLECHT (1=männl.,2=weibl.)	1,0	1,5	2,0	2
	1	ALTER	17	31	57	10
		GRÖßE	160,00	172,30	187,00	10
		GESCHLECHT	1,0	1,5	2,0	10
	2	ALTER	20	42	66	18
		GRÖßE	149,00	168,61	185,00	18
		GESCHLECHT	1,0	1,5	2,0	18
	3	ALTER	22	27	32	2
		GRÖßE	158,00	161,50	165,00	2
		GESCHLECHT	2,0	2,0	2,0	2
Gesamtwert für alle Beschwerdebilder	ALTER		17	38	66	32
	GRÖßE		149	170	187	32
	GESCHLECHT		1,00	1,53	2,00	32

Tab 5.3: Alters-, Größen- und Geschlechtsverteilung der QTF-Gruppen

### 5.2.3 QTF-Klassifizierung und $\Delta v$

Im Geschwindigkeitsbereich von 6 – 9 km/h sind alle Klassifizierungen von QTF 0 - 3 vertreten, wobei im Bereich 13 – 17 km/h QTF 2 mit über 80% vorherrscht. Es treten aber sowohl im niedrigen  $\Delta v$ -Bereich von 6 – 9 km/h, wie auch im Bereich von 10 – 12 km/h je einmal QTF 3 – Beschwerden auf. Abbildung 5.5 gibt eine Übersicht über die Häufigkeit der verschiedenen Verletzungsklassen in den unterschiedlichen  $\Delta v$ -Gruppen.

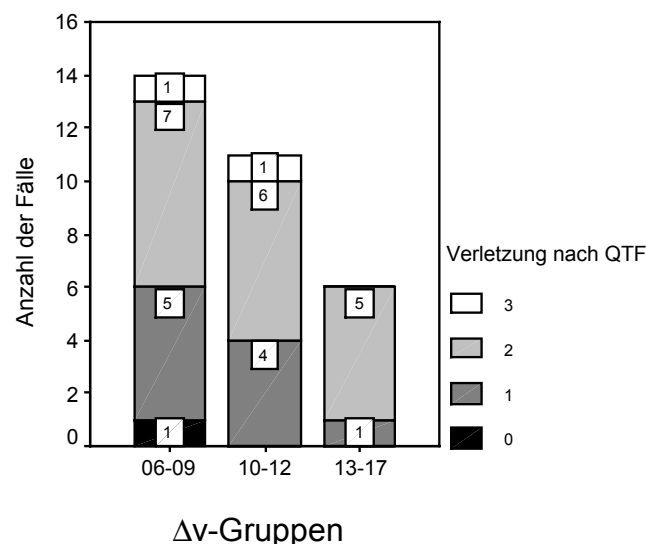


Abb.5.5: Verteilung der  $\Delta v$ -Gruppen nach Beschwerdebildern klassifiziert nach QTF

Um einen Einfluß der Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v$  auf die Schwere der Beschwerden zu erkennen, werden die  $\Delta v$ -Verteilungen in den unterschiedlichen QTF-Klassen in Abbildung 5.6 verglichen. Hierbei ergibt sich, daß Patienten mit einer HWS-Symptomatik nach QTF 1 einen Unfall mit Geschwindigkeitsänderungen zwischen 7 und 13 km/h und Patienten mit QTF 2 mit  $\Delta v$  zwischen 6 und 17 km/h erlitten. Die Mediane der Geschwindigkeitsänderungen steigen bei zunehmenden QTF-Einstufungen stetig an.

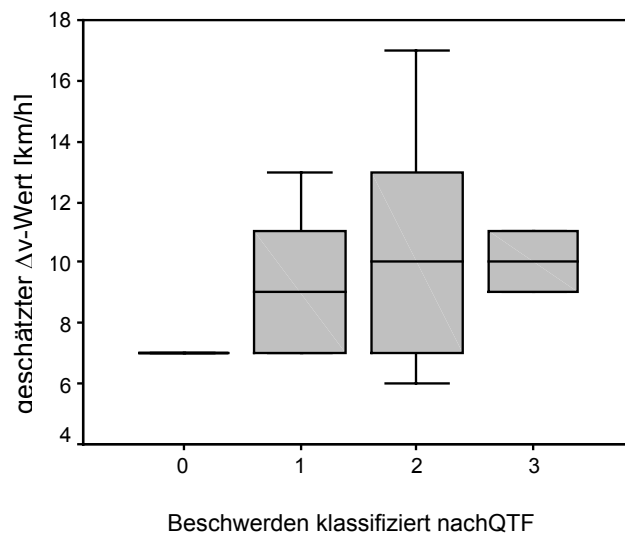


Abb.:5.6.: Boxplot der Geschwindigkeitsänderung in den verschiedenen Gruppen nach QTF

Es besteht eine Korrelation zwischen  $\Delta v$  und QTF, wobei offensichtlich auch andere Faktoren einen entscheidenden Einfluß haben müssen. So kann sich in der Gruppe 2 zusätzlich das höhere Alter der Personen (siehe Tab.5.3) auswirken.

#### 5.2.4 QTF und schmerzfreies Intervall

Da in der Einteilung der Verletzung nach Erdmann das schmerzfreie Intervall eine Rolle spielt, wurde in diesem Kollektiv untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen den initialen Beschwerden nach QTF und dem schmerzfreien Intervall besteht. Hierbei erhält man einen Korrelationskoeffizienten für die Rangkorrelation nach Spearman von  $-0,15$  und eine Signifikanz von  $0,2$ . Dies spricht nicht für einen Zusammenhang zwischen schmerzfreiem Intervall und QTF.

#### 5.2.5 QTF und Kopfschmerz

Da der Kopfschmerz nach dem Unfall nicht in die Bewertung nach QTF eingeht, wird untersucht, ob sich ein Zusammenhang mit den restlichen Beschwerden der HWS ergibt. Mit einem Korrelationskoeffizienten nach Spearman von  $0,26$  und einer **Signifikanz von  $0,08$**  ist dieser Zusammenhang durchaus wahrscheinlich.

### 5.2.6 QTF und horizontaler Abstand zwischen Kopf und Kopfstütze

Die QTF-Gruppen wurden hinsichtlich des horizontalen Abstandes zwischen Kopf und Kopfstütze in Abbildung 5.7 verglichen. Mit zunehmender Schwere der Beschwerden steigen die Mediane der horizontalen Abstände stetig an. Die Schwankungsbreite der gemessenen Abstände ist gering. Bei den beiden Ausreißern 26 und 31 handelt es sich um Insassen, die sich während des Unfalls nach vorne beugten (Forward Inclined Position: FIP).

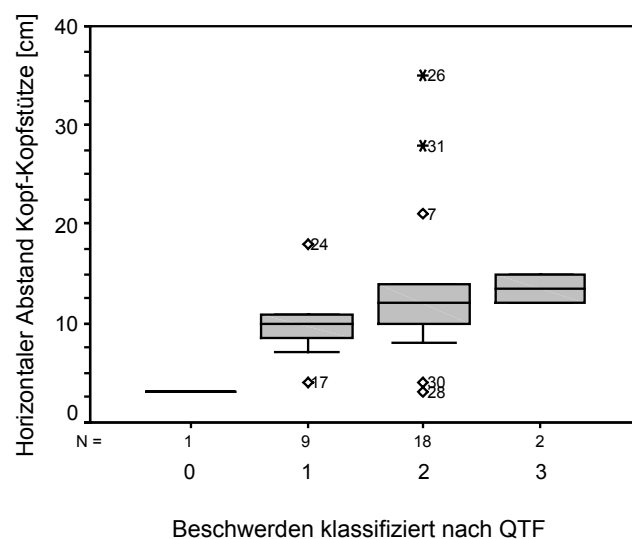


Abb.5.7 : Boxplot der horizontalen Abstände zwischen Kopf und Kopfstütze in den verschiedenen QTF-Gruppen

Bei weiterer Untersuchung dieser Parameter ergibt sich ein Korrelationskoeffizient nach Spearman von 0,45 und eine **Signifikanz von 0,006**. Dies spricht für einen deutlichen Zusammenhang von QTF und dem horizontalen Abstand zwischen Kopf und Kopfstütze und zwar in der Weise, daß bei zunehmendem Abstand auch die Verletzungsschwere zunimmt.

### 5.2.7 QTF und vertikaler Abstand zwischen Kopf und Kopfstütze

In Abbildung 5.8 werden die Werte des vertikalen Abstandes zwischen Kopf und Kopfstütze, d.h. der Abstand zwischen der Oberkante der Kopfstützen und der Scheitelhöhe des Insassen, mit den Beschwerdebildern klassifiziert nach QTF

verglichen. Die beiden Insassen Nummer 5 und 19 saßen auf der Rückbank und hatten keine Kopfstütze.

Eine Tendenz der Mediane ist hier nicht zu erkennen. So unterscheiden sich die Verletzungsgruppen QTF 1 und 2 nicht in ihrem mittleren vertikalen Abstand zwischen Kopf und Kopfstütze. Die zwei Personen, die ein HWS-Trauma nach QTF 3 erlitten, haben sogar einen relativ geringen mittleren vertikalen Abstand. Dies kommt durch einen in einem Fall sogar negativen Abstand, d.h. hier überragt die Kopfstütze den Kopf, zustande.

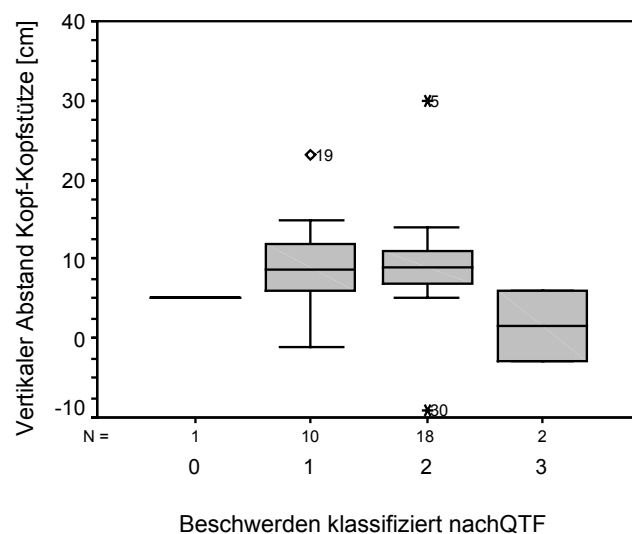


Abb.5.8: Boxplot der vertikalen Abstände zwischen Kopf und Kopfstütze in den verschiedenen QTF-Gruppen

Bei Personen mit größerer Körperlänge ist erfahrungsgemäß auch ein größerer Abstand zwischen Kopf und der Kopfstütze in der Vertikalen anzunehmen. Um dieses zu überprüfen, wird der Abstand gegen die Körpergröße in Abbildung 5.9 aufgetragen. Die Annahme wird bestätigt: Bei zunehmender Körpergröße nimmt auch der vertikale Abstand im Schnitt zu.

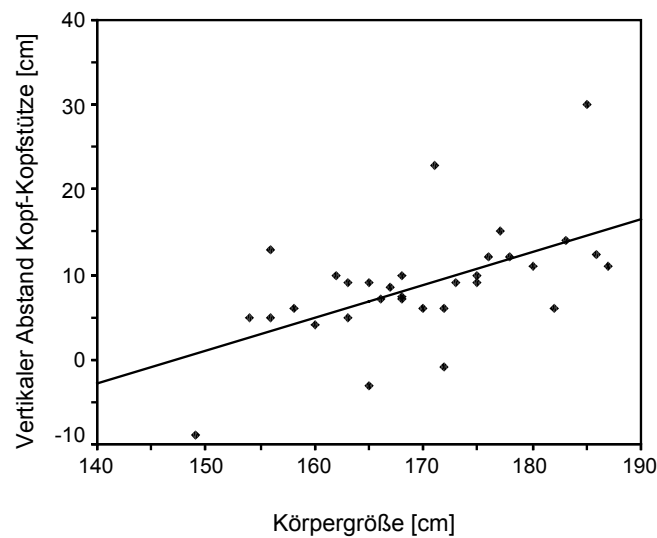


Abb.5.9: Vertikaler Abstand zwischen Kopf und Kopfstütze in Abhängigkeit von der Körpergröße des Insassen

Da der vertikale Abstand in unserem Kollektiv für die Einstufung der Beschwerden keine Rolle spielt, hat auch die Körpergröße als mittelbarer Parameter keinen sicheren Einfluß auf die Beschwerden.

Dies wird auch durch die untersuchte Korrelation zwischen QTF und der Körpergröße bestätigt (Korrelationskoeffizient = -0,19 / Signifikanz 0,16)

#### 5.2.8 QTF und die Dauer der Beschwerden

Um die Beeinträchtigung der Patienten durch den Unfall einzuschätzen, wurden die Teilnehmer nach ca. ½ Jahr zu der Dauer der Beschwerden befragt. Von 26 Personen ( 81%) liegen Angaben vor.

Um einen möglichen Zusammenhang zwischen initialen Beschwerden, klassifiziert nach QTF, und der Dauer der Beschwerden zu erkennen, werden diese beiden Parameter in Abbildung 5.10 miteinander verglichen.

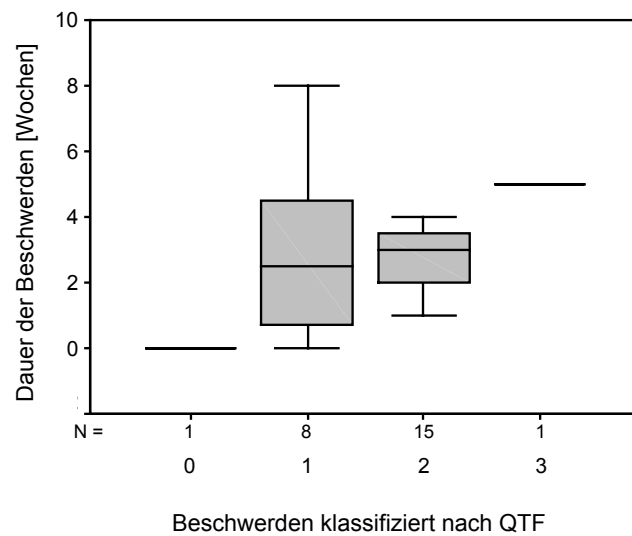


Abb.5.10: Boxplot mit Dauer der Beschwerden in Wochen in den vier Beschwerdeguppen nach QTF

Die Mediane der Beschwerdedauer steigen mit zunehmender Beschwerdeintensität stetig an. Die QTF – Gruppen 0 und 3 sind wegen der geringen Fallzahlen nicht aussagekräftig.

Die Korrelation nach Spearman ergibt einen Korrelationskoeffizienten von 0,32 bei einer Signifikanz von 0,6. Es ist somit kein signifikanter Zusammenhang zwischen den initialen Schwere und der Dauer der Beschwerden nachweisbar.

#### 5.2.9 QTF und Schmerzensgeld

Das von der Versicherung gezahlte Schmerzensgeld war in 18 Fällen (56%) entweder aus den Angaben der Insassen oder aus den Versicherungsakten zu entnehmen.

In Abbildung 5.11 werden die gezahlten Schmerzensgelder für jede QTF-Klasse in einem Boxplot dargestellt. Hierbei lässt sich kein Zusammenhang zwischen der Schwere der Beschwerden und der gezahlten Entschädigung erkennen. Beide Mediane liegen bei 750.- DM.

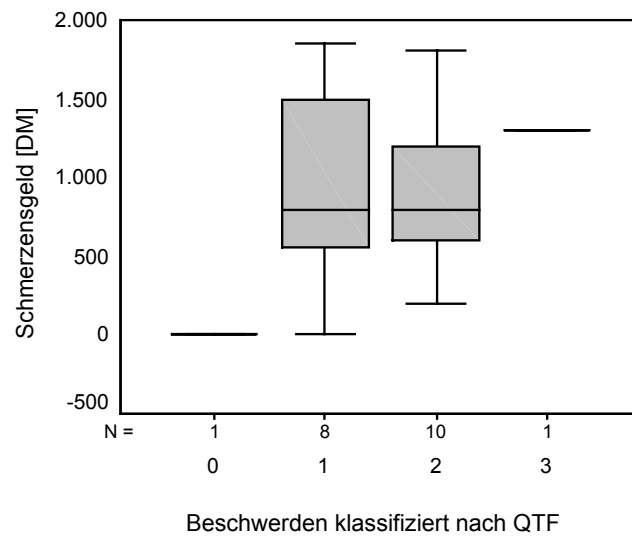


Abb.5.11: Boxplot des gezahlten Schmerzensgeldes in verschiedenen QTF-Gruppen

Aus diesem Ergebnis und der großen Streuung läßt sich ersehen, daß offensichtlich nicht, wie eigentlich anzunehmen, der Grad der Beschwerdeintensität, sondern andere Parameter für die Höhe des Schmerzensgeldes ausschlaggebend sind.

#### 5.2.10 QTF und Fahrzeuggewicht

In Abbildung 5.12 werden die Leergewichte der gestoßenen Fahrzeuge in Kilogramm mit der Intensität der Beschwerden der Insassen, die in diesem Fahrzeug saßen, verglichen. Hinsichtlich dieses Parameters ergibt sich in den verschiedenen QTF-Klassen kein Trend.



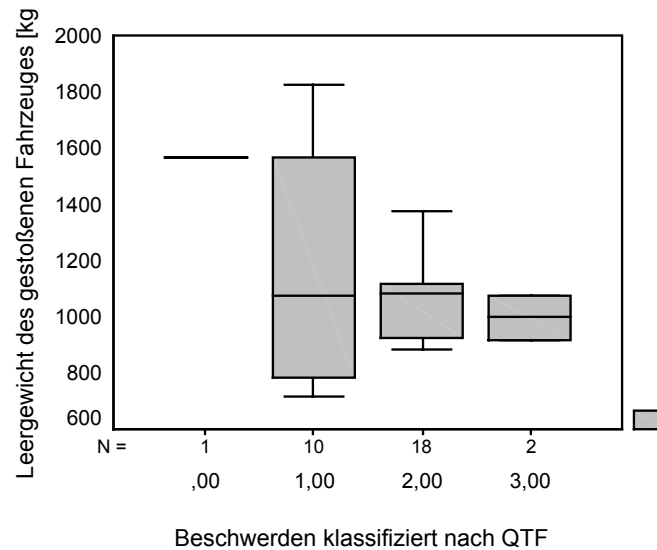


Abb.5.12: Boxplot des Leergewichtes des gestoßenen Fahrzeuges in den verschiedenen QTF-Gruppen

In Abbildung 5.13 sind die Leergewichte der stoßenden Fahrzeuge mit den erlittenen Beschwerden nach QTF verglichen. Erwartungsgemäß werden in den höheren QTF-Klassen schwerere Fahrzeuge gefunden.

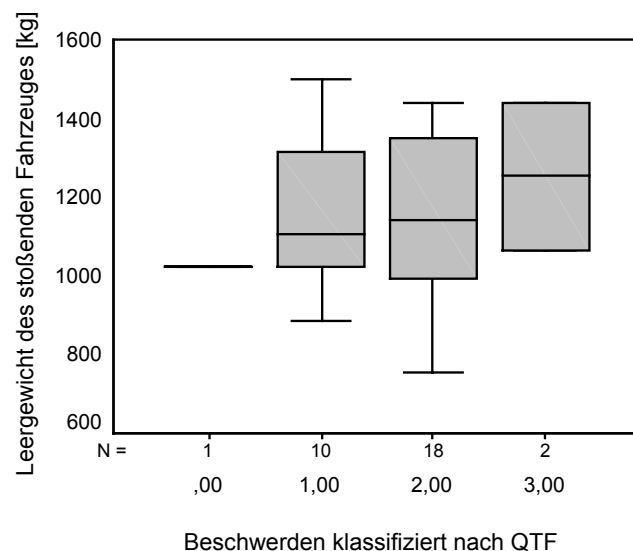


Abb.5.13: Boxplot des Leergewichtes der stoßenden Fahrzeuge in den verschiedenen QTF-Klassen der Insassen des Unfallgegners

In Abbildung 5.14 wurde der Quotient von Leergewicht des stoßenden durch das Leergewicht des gestoßenen Fahrzeuges mit den QTF-Klassen verglichen. Trotz

hoher Streuung zeigt sich deutlich, daß höhere Beschwerdeklassen mit steigenden Quotienten einhergehen. In der QTF-Klasse 2 und 3 lagen die Mediane über 1. Das bedeutet, daß die stoßenden Fahrzeuge im Mittel schwerer waren als die gestoßenen.

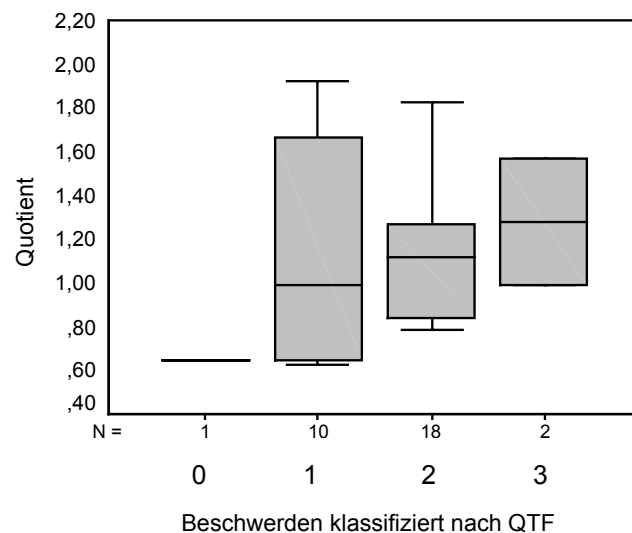


Abb.5.14: Boxplot des Quotienten des Leergewichtes des stoßenden durch das Leergewicht des gestoßenen Fahrzeuges in den verschiedenen QTF-Klassen

Um diesen Trend weiter zu untersuchen, wird die Korrelation dieses Quotienten mit der Einstufung nach QTF bestimmt. Allerdings findet sich hier ein Korrelationskoeffizienten nach Spearman von 0,2 und einer **Signifikanz von 0,1**.

### 5.3 Berufskategorien

#### 5.3.1 Einteilung der Berufskategorien

Die Berufe der 32 Personen werden entsprechend den Anforderungen an den ausgeübten Beruf in drei Kategorien eingeteilt. So entspricht Kategorie 1 einer Tätigkeit, die ohne Ausbildung im Sinne einer Lehre auszuführen ist (ungelernt), Kategorie 2 einer Tätigkeit, bei der eine Lehre notwendig ist (Ausbildung), und Berufe der Kategorie 3 setzen ein absolviertes (Fach-) Hochschulstudium voraus. In Tabelle 5.4 ist eine Übersicht der Einordnung dargestellt.

Berufskategorie 1	Berufskategorie 2	Berufskategorie 3
Tankwart	Müller	Pfarrer
Hilfsarbeiter	Steuerfachgehilfin	Universitätsprofessor
Rentner	Kaufm. Angestellter	Dipl. Ingenieur
Schreibkraft	Industriekauffrau	Lehrerin
Hausfrau	Verwaltungsangestellte	
Sekretärin	Malermeister	
Schülerin	Fremdsprachenkorrespondentin	
Zivildienstleistender	Zahnarzthelferin	
Wachdienst	Bilanzbuchhalterin	
Fußpflegerin	Kauffrau	
	Netzwerkspezialist	

Tab.5.4: Einordnung der Berufe in 3 Berufskategorien

Die Verteilung bezüglich Alter und Größe innerhalb der verschiedenen Berufskategorien ist aus Tabelle 5.5 zu ersehen. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß das durchschnittliche Alter in Kategorie 1 mit 33 Jahren niedriger ist als in den Kategorien zwei und drei mit 41 bzw. 40 Jahren.

			Maximum	Mittelwert	Minimum	Anzahl
Berufskategorie	1	ALTER	66	33	17	13
		GRÖßE	187,00	171,23	149,00	13
	2	ALTER	62	41	21	13
		GRÖßE	175,00	165,62	156,00	13
	3	ALTER	53	40	27	6
		GRÖßE	183,00	175,17	163,00	6
Gesamtwert aller Berufe	ALTER		66	38	17	32
	GRÖßE		187	170	149	32

Tab 5.5: Alters- und Größenverteilung in den Berufskategorien

### 5.3.2 Berufskategorien und Dauer der Beschwerden

Beim Vergleich der Berufskategorien hinsichtlich der Dauer der Beschwerden anhand des Boxplots in Abbildung 5.15 fällt auf, daß die mittlere Beschwerdedauer mit steigender Berufskategorie abnimmt.

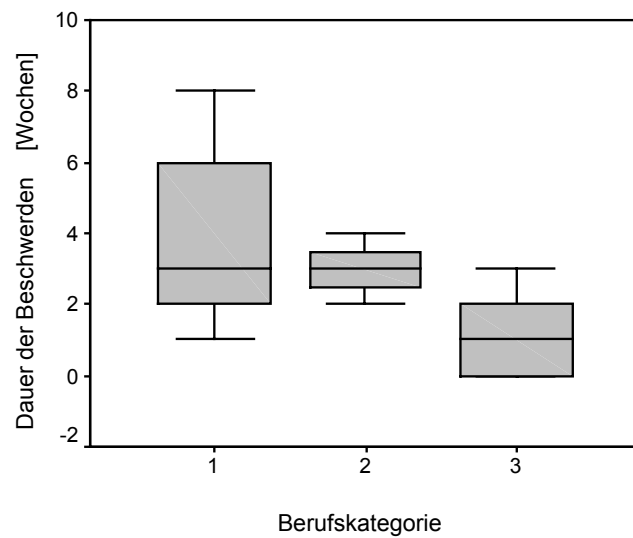


Abb.5.15: Boxplot der Dauer der Beschwerden in den drei Berufskategorien

Auch unter Berücksichtigung der Geschwindigkeitsänderung durch Differenzierung in die  $\Delta v$ -Gruppen ist diese Tendenz in den ersten beiden Gruppen noch zu erkennen (Abbildung 5.16). Die Aussagekraft der  $\Delta v$ -Gruppe 13 – 17 km/h ist wegen der geringen Anzahl ( $n=4$ ) gering.

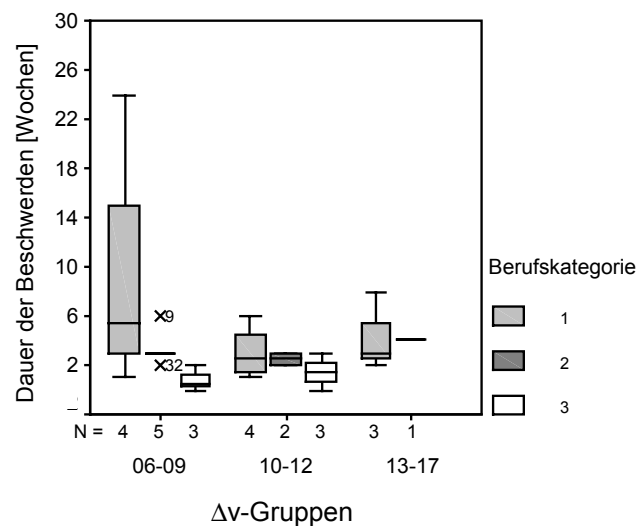


Abb.5.16 Boxplot der Dauer der Beschwerden in den drei Berufskategorien differenziert nach der Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v$

### 5.3.3 Berufskategorien und Dauer der Arbeitsunfähigkeit

Bei Betrachtung der Dauer der Arbeitsunfähigkeit in Boxplot 5.17 ist kein Unterschied zwischen den drei Berufsgruppen festzustellen. Hier spielt der große Anteil (60%) der Patienten, die sich nicht krankschreiben ließen, d.h. AU = 0, eine Rolle. Hierunter fanden sich vor allem Hausfrauen, Rentner und Selbständige.

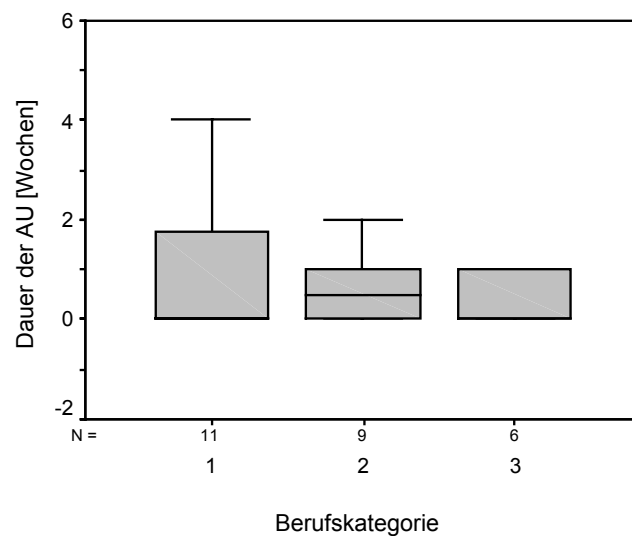


Abb.5.17: Dauer der vom Arzt bestätigten Arbeitsunfähigkeit (AU) in den verschiedenen Berufskategorien

### 5.4 Geschlecht , QTF und $\Delta v$

In Abbildung 5.18 ist der Vergleich der  $\Delta v$ -Verteilung in den verschiedenen QTF-Gruppen differenziert nach dem Geschlecht der Patienten dargestellt. Innerhalb einer Beschwerden-Gruppe fällt eine bei Frauen im Mittel höhere Geschwindigkeitsänderung im Vergleich zu Männern auf. Läßt man andere mögliche Einflußfaktoren außer acht, so könnte man aus diesem Diagramm eine für Frauen höhere Verletzungsschwelle vermuten. Allerdings findet sich zwischen dem Geschlecht der Patienten und der Verletzungsschwere nach QTF keine Relation: der Korrelationskoeffizient beträgt 0,06 und die Signifikanz liegt bei 0,4.

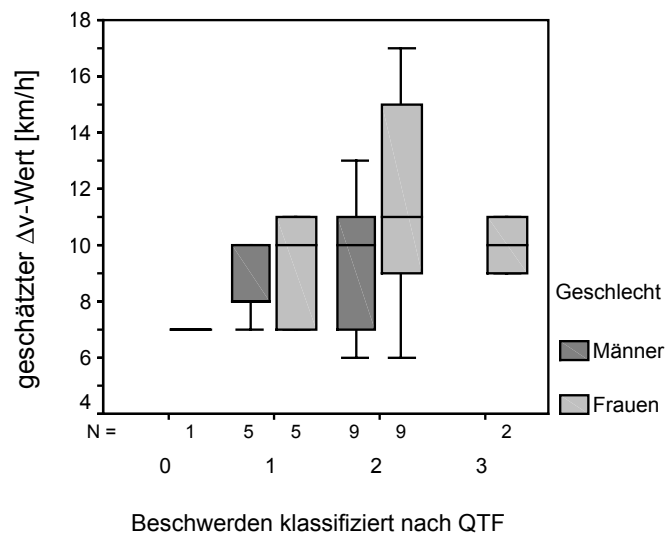


Abb.5.18: Verteilung der Geschwindigkeitsänderung in den vier QTF – Klassen differenziert nach dem Geschlecht des Insassen

### 5.5 Alter, QTF, Dauer der Beschwerden und Degeneration der HWS

Zur Betrachtung der Korrelation zwischen dem Alter der Probanden und den Parametern Einteilung nach QTF, Dauer der Beschwerden in Wochen und vorhandene Degenerationen der HWS, wurden der Spearman – Korrelationskoeffizient und die Signifikanz berechnet (Tabelle 5.6). Die Degeneration der HWS wurde auf Basis der radiologischen Diagnostik der Krankenhäuser eingeteilt in : vorhanden – nicht vorhanden.

Beschwerden nach QTF	Korrelationskoeffizient	0,18
	Signifikanz (1-seitig)	0,17
	n	32
Dauer der Beschwerden [Wochen]	Korrelationskoeffizient	0,07
	Signifikanz (1-seitig)	0,4
	n	26
Degeneration der HWS	Korrelationskoeffizient	0,7
	Signifikanz (1-seitig)	0,001
	n	16

Tab.5.6: Korrelationskoeffizient und Signifikanz für das Alter der Insassen

Bei der Betrachtung des Alters der Patienten ergab sich in diesem Kollektiv kein eindeutiger Einfluß auf die Schwere oder die Dauer der Beschwerden.

Mit zunehmendem Alter nimmt die Anzahl der Personen mit Degenerationen im Bereich der HWS erwartungsgemäß signifikant zu.

## 5.6 Stoßerwartung

In der Diskussion der experimentellen Studien kommt es immer wieder zu dem Einwand, daß die Probanden den Stoß erwartet hätten und es so zu einer Veränderung der Ergebnisse kommt. Deshalb wird hier untersucht, ob die Stoßerwartung im realen Unfall eine Rolle in Bezug auf die Schwere der Beschwerden hat.

Die Insassen wurden gefragt, ob sie den Unfall erwartet hätten, z.B. durch einen Blick in den Rückspiegel. Acht von 31 (26%) beantworteten diese Frage mit Ja . Wie sich aus Tabelle 5.7 ergibt, sind die beiden Stoßerwartungsgruppe hinsichtlich Alter, Größe und Geschlecht als gleich anzusehen.

			Minimum	Mittelwert	Maximum	Anzahl
Stoßerwartung	nein	ALTER	17	39	66	23
		GRÖßE	149,00	169,91	187,00	23
		GESCHLECHT (1=männl.,2=weibl.)	1,0	1,6	2,0	23
	ja	ALTER	19	34	62	9
		GRÖßE	156,00	169,11	186,00	9
		GESCHLECHT	1,0	1,4	2,0	9

Tab.5.7: Alters-, Größen- und Geschlechtsverteilung der Stoßerwartungsgruppen

Die beiden Geschwindigkeitsgruppen  $\Delta v = 6 - 9$  km/h und  $10 - 12$  km/h werden in Tabelle 5.8 hinsichtlich der durchschnittlichen Schwere der Beschwerden, klassifiziert nach QTF, verglichen. Bei Personen, die vorbereitet waren, fielen die Beschwerden geringer aus als bei denen, die unerwartet verunfallten.

In der  $\Delta v$  Gruppe  $13 - 17$  km/h war kein Patient auf den Unfall vorbereitet.

Es zeigt sich bei den Vorbereiteten ein durchschnittlich geringeres Risiko hinsichtlich der Verletzungsschwere nach QTF.

					Mittelwert	Anzahl
$\Delta v$ - Gruppen	06-09	vorbereitet	nein		1,67	9
			ja		1,40	5
		Gruppen-Gesamtwert			1,57	14
	10-12	vorbereitet	nein		1,75	8
			ja		1,67	3
		Gruppen-Gesamtwert			1,73	11
	13 - 17	vorbereitet      nein			1,83	6
		Gruppen-Gesamtwert			1,83	6

Tab.5.8: Mittelwert der Beschwerden, klassifiziert nach QTF für die Stoßerwartungsgruppen, differenziert nach der Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v$

## 5.7 Diverse Fahrzeugparameter

### 5.7.1 Baujahr und vertikaler Abstand Kopf-Kopfstütze

Da ein sehr großer Teil der Insassen nicht korrekt eingestellte Kopfstützen hatte, ist zu klären, ob das Baujahr der Fahrzeuge einen Einfluß auf die Einstellung hat.

Hierfür wird in Abbildung 5.19 der vertikale Abstand zwischen Kopf und Kopfstütze gegen das Baujahr der Fahrzeuge aufgetragen.

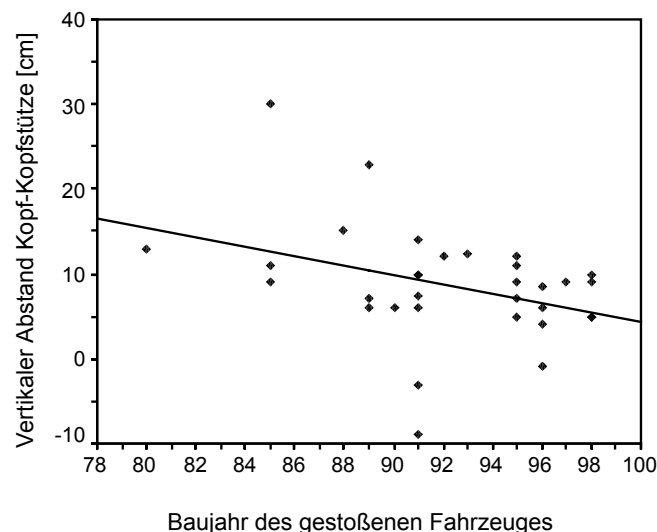


Abb.5.19: Abhängigkeit des vertikalen Abstandes zwischen Kopf und Kopfstütze vom Baujahr des gestoßenen Fahrzeuges

Dabei erkennt man, daß vor allem Insassen älterer Fahrzeuge unter dem Problem der nicht korrekt eingestellten Kopfstützen leiden. Bei jüngeren Fahrzeugen waren die Kopfstützen im Schnitt besser dem Insassen angepaßt. Dies ist, da kein



Zusammenhang zwischen dem Baujahr der Fahrzeuge und der Größe der Insassen besteht (Abbildung 5.20), eventuell auf den größeren Einstellbereich der Kopfstützen bei neueren Fahrzeugen zurückzuführen.

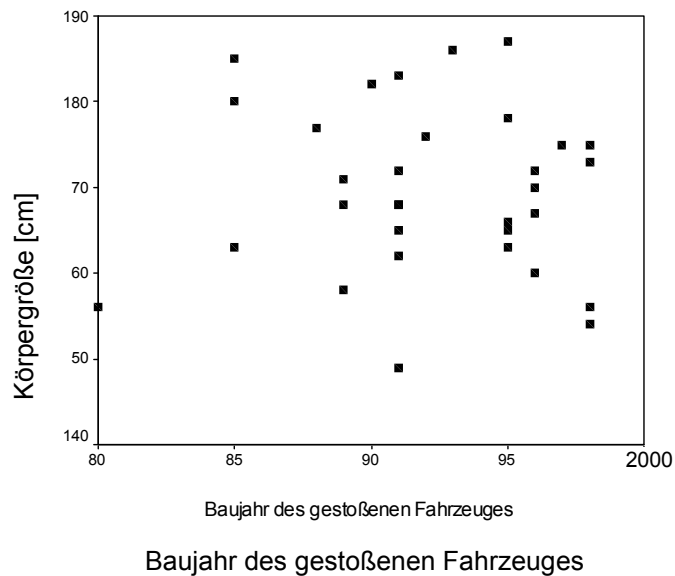


Abb. 5.20 : Körpergröße der Insassen und Baujahr ihres Fahrzeuges

### 5.7.2 Baujahr und Kopfstützenhärte

In Abbildung 5.21 sind das Baujahr der Fahrzeuge und die Härte der Kopfstützen gegenübergestellt. Hierbei zeigt sich, daß neuere Fahrzeuge eher härtere Kopfstützen haben.

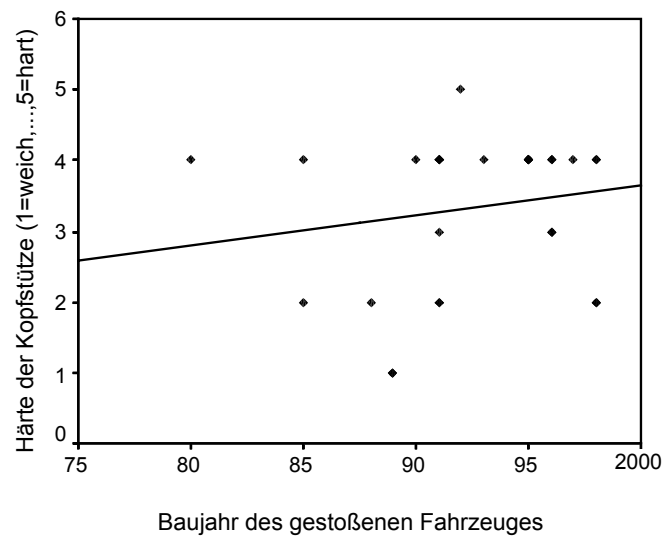


Abb.5.21: Härte der Kopfstütze und Baujahr des Fahrzeuges

Die Kopfstützenhärte korreliert mit dem Auftreten von Kopfschmerzen (Korrelationskoeffizient nach Spearman = -0,36 / **Signifikanz = 0,05**), d.h. das Auftreten von Kopfschmerzen nimmt mit der Härte der Kopfstützen zu.

### 5.7.3 Baujahr und Alter der Insassen

Bei der Untersuchung des Alters der Insassen ergibt sich ein Zusammenhang mit dem Alter des Fahrzeuges (Korrelationskoeffizient = 0,34 / **Signifikanz = 0,03**) in der Weise, daß jüngere Personen in älteren Fahrzeugen, d.h. mit kleinerem Baujahr, gesessen haben.

## 6. Diskussion

### 6.1 Dokumentation und Einteilung der Beschwerden

(1) Eine eigene klinische Untersuchung der Patienten konnte nicht erfolgen. Es wurden zum Zweck der Einteilung der Beschwerden der Patienten die Aufzeichnungen der behandelnden Ärzte eingesehen. Daher sind die Ergebnisse von der Qualität der Befunddokumentation der Ärzte abhängig.

(2) Zur klinischen Befunderhebung im Rahmen einer HWS-Verletzung sind u.a. folgende Untersuchungen nach QTF und GRAF – BAUMANN sinnvoll:

- Beobachtung von Haltungsprovisorien von Kopf, Hals und Rumpf
- aktive Beweglichkeit mit Frage nach schmerzhafter Einschränkung
- passive Beweglichkeit in Abhängigkeit von der klinischen Aktualität
- Palpation der Halsmuskulatur mit Frage nach Hartspann und Druckschmerz
- Radiologische Diagnostik der HWS in 2 Ebenen mit Dens- und eventuellen Funktionsaufnahmen zum Ausschluß von Frakturen, Gefügelockerungen oder Degenerationen
- Kopfschmerz mit Lokalisation
- Neurologische Untersuchung
- Vegetative Symptomatik
- Wahrnehmungsphysiologische Defizite, wie Beeinträchtigung des Sehens, des Hörens oder des Denkens

Nach der vorliegenden Dokumentation wurden diese Untersuchungen nur zwischen 85% (neurologische Defizite) und 41% (vegetative Defizite) vorgenommen bzw. dokumentiert.

Die Röntgendiagnostik in 2 Ebenen wurde immer durchgeführt. Somit wurden primär in allen Fällen schwerere Verletzungen der HWS ausgeschlossen.

Die Spezialaufnahmen des Dens und Funktionsaufnahmen der HWS in Inklination und Reklination wurden nur bei 33% bzw. 22% der radiologisch untersuchten Patienten durchgeführt. Bei Fehlen dieser Aufnahmen können Frakturen des Dens und Verletzungen der Längsbänder der HWS nicht ausgeschlossen werden.

In 59% der Fälle wurde eine Steilstellung der HWS beschrieben. Wie oft dieser Befund zur Diagnosestellung beigetragen hat, ist aus den vorhandenen Unterlagen nicht zu ersehen. Dazu ist anzumerken, daß nach einer Studie von HELLIWELL ET AL. die Steilstellung der Halswirbelsäule bei 42% der nicht verunfallten Normalbevölkerung auftritt. Daher kann sie nicht generell als Unfallfolge betrachtet und zur Diagnosestellung herangezogen werden.

Es gibt differenzierte Verletzungsskalen, z.B. von Murray, die trotz schriftlicher Kontaktaufnahme nicht beschafft werden konnten. Es war jedoch in allen Fällen möglich, die Beschwerden nach der Klassifizierung der Quebec Task Force (QTF) in die vier Gruppen (0,1,2,3) durchzuführen. Die Unterscheidung der Gruppen eins und zwei (zusammen 88 % der Fälle) beruht auf der Objektivierbarkeit der vom Patienten angegebenen Beschwerden. Bei QTF 2 finden sich neben den vom Patienten angegebenen Beschwerden klinisch objektivierbare Symptome, wie Muskelhartspann oder eingeschränkte Beweglichkeit. Da die Dokumentation nicht immer ausreichend war, sind in vielen Fällen (48 %) über die Existenz eines Muskelhartspanns keine Angaben zu finden. Dies wurde als fehlende objektivierbare Symptome, entsprechend QTF 1, gewertet.

Auf Grund der fehlenden Objektivierbarkeit der angegebenen Beschwerden spielt für viele Ärzte offensichtlich die eigene Einschätzung der Beschwerden in Verbindung mit dem angegebenen Unfall eine entscheidende Rolle. Bei einer Befragung von praktizierenden Ärzten fand 1997 MAXEINER heraus, daß 54% der Ärzte, die selbst bereits unter traumatisch bedingten HWS-Beschwerden gelitten hatten, derartige Beschwerden für traumaspezifisch hielten. Bei den Ärzten, die einen Unfall ohne HWS-Beschwerden erlitten hatten, waren es dagegen nur 35 %.

Einige Befunddokumentationen ließen die Vermutung aufkommen, daß die Anamnese des Unfallhergangs bereits zur Diagnosestellung "HWS-Distorsion" führte.

(3) Die Grundlage der Entschädigungsansprüche sind primär die Atteste der behandelnden Ärzte. Daher wird die Befunderhebung in Zusammenhang mit der Entschädigung und Begutachtung immer wieder kritisch diskutiert. Dabei wird gefordert, daß der behandelnde Arzt sich auf die von ihm erhobenen Befunde beschränkt, allenfalls auch seine Diagnose nennt. Als nicht adäquat wird die Angabe eines Zusammenhangs mit einem vom Patienten angegebenen Unfallereignisses

betrachtet. CASTRO schreibt hierzu: „Es ist nicht Sache des Hausarztes, die Beweisnot des Patienten durch ein Gefälligkeitsattest auszugleichen“.

Nach einem neuen Urteil der IV. Zivilkammer des BGH vom 14.4.1999 können auch nicht objektivierbare Beschwerden durchaus Beweiswert haben. Dort wird festgestellt, daß „ der ärztliche Nachweis der Erkrankung auch dadurch geführt werden kann, daß ein Arzt seine Diagnose auf die Beschwerdeschilderung des Patienten stützt...“ Zu bemerken ist in diesem Fall, daß es sich hierbei um die Entschädigung einer Tendomyopathie handelt, für die es in der ärztlichen Praxis durchaus mehr objektive apparative diagnostische Nachweise gibt als für die HWS-Distorsion.

## 6.2 Einfluß von $\Delta v$ auf die Verletzungsschwere

Die Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v$  ist ein wichtiger Parameter für die Unfallschwere [NIELSEN], der einen Einfluß auf die Schwere der Beschwerden hat [EICHBERGER]. 44% der Personen hatten Unfälle im  $\Delta v$ -Bereich von 6 bis 9 km/h erlitten. Davon wurden sieben Personen nach QTF 2 eingestuft. Somit ist festzustellen, daß bereits in diesem Geschwindigkeitsbereich initial objektivierbare Beschwerden auftreten können. Die Diagnose des Arztes, der direkt nach dem Unfallereignis aufgesucht wird, kann nur die initialen Beschwerden enthalten und gibt keine Auskunft über die Dauer der diagnostizierten Beeinträchtigungen und eventuelle Folgeschäden. Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß gerade in diesem Geschwindigkeitsbereich viele Freiwilligenversuche unternommen wurden, bei denen keine länger dauernden Beschwerden festgestellt wurden [z.B. MATSUSHITA ET AL., MC CONNELL ET AL. 1993, GEIGL ET AL.], erscheinen derartige Unfälle als Ursache längerer Arbeitsunfähigkeit nicht geeignet zu sein.

Das Verhältnis von QTF 1-Verletzten zu QTF 2-Verletzten unterscheidet sich in den Geschwindigkeitsgruppen 6 - 9 km/h und 10 - 12 km/h so gut wie nicht (1:1,4 / 1:1,5). Erst im Geschwindigkeitsbereich von 13 –17 km/h ist eine Veränderung zu Ungunsten der Betroffenen zu erkennen (1:5). Da in diesem  $\Delta v$ -Bereich 80% der angegebenen Beschwerden objektivierbar waren, muß von einer erhöhten Verletzungswahrscheinlichkeit oberhalb von 13 km/h ausgegangen werden.

### 6.3 Schmerzfreies Intervall

Bereits in frühen Arbeiten über das „HWS-Schleudertrauma“ [ERDMANN], wird das schmerzfreie Intervall erwähnt. In der Einteilung nach ERDMANN ist es eines der Unterscheidungskriterien. In dieser Arbeit wurde kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem schmerzfreien Intervall und der Klassifizierung nach QTF gefunden. So wurde bereits bei leichten Beschwerden, die zudem nur kurz anhielten (ein Tag), kein schmerzfreies Intervall gefunden, d.h. die Beschwerden waren sofort nach dem Unfallereignis aufgetreten. Auf Grund dieser Ergebnisse ist es fraglich, ob das schmerzfreie Intervall die Rolle der Differenzierung von HWS-Beschwerden nach Auffahrunfällen spielen sollte. Gleichzeitig muß dann aber auch die Klassifizierung nach ERDMANN, die heutzutage noch sehr häufig, aber offenbar auch sehr undifferenziert verwendet wird, in Frage gestellt werden.

Die etwas differenziertere Einteilung nach QTF, nach der die Objektivierbarkeit der Beschwerden sofort ersichtlich ist, ist für derartige Beschwerdebilder in dem hier untersuchten Geschwindigkeitsbereich meiner Meinung nach vorzuziehen.

### 6.4 Weitere Symptome nach Heckaufprall

#### 6.4.1. Kognitive Einbußen

Einige Ärzte und Juristen sehen Einbußen in der kognitiven Leistungsfähigkeit als mögliche Folge eines HWS-Traumas nach einem Autounfall [POECK]. In einem Fall klagte ein Teilnehmer über vorübergehende Konzentrationsschwierigkeiten nach dem Unfall. In diesem Fall bestanden keine weiteren typischen Symptome, wie z.B. Nackenschmerzen. Da dieser Patient sonst keine „typischen“ Beschwerden „simulierte“ und die gezahlte Entschädigung in Höhe von 200.- DM, die niedrigste in dieser Studie, von ihm auch nicht angefochten wurde, sind die Beschwerden als glaubhaft zu werten. Inwieweit diese in kausalem Zusammenhang mit dem Unfall stehen, ist hier nicht abschließend zu beurteilen.

POECK kommt nach Bewertung der physiologischen und anatomischen Gegebenheiten zu dem Schluß: „Kognitive Störungen, vor allem Beeinträchtigungen von Merkfähigkeit und Aufmerksamkeit, über die nach HWS-Distorsion geklagt wird, können nicht auf den Schädigungsmechanismus des Traumas bezogen werden.“

#### 6.4.2 Störung des optischen Apparates

In einem der hier untersuchten Fälle (Fall Nr.: 29) kam es über einige Monate nach dem Unfallereignis zu einer zunehmenden Verschlechterung eines bereits vorher vorhandenen Strabismus. Nach Ansicht der Patientin besteht ein kausaler Zusammenhang mit dem Trauma. Dies machte nach einigen Monaten eine sogenannte Schieloperation notwendig. Die Patientin hatte bereits initial ein als QTF 3 einzustufendes Beschwerdebild geboten. Da uns entsprechende Unterlagen, wie z.B. ärztliche Gutachten, nicht zur Verfügung standen, kann der kausale Zusammenhang nicht beurteilt werden.

#### 6.5 Horizontaler Abstand zwischen Kopf und Kopfstütze

Die Kopfstütze ist ein im Zusammenhang mit der passiven Sicherheit oft diskutiertes Detail. Ihre Position ist vor allem beim Heckaufprall relevant. Die Extensionsbewegung des Kopfes wird durch den Anprall an der Kopfstütze beendet. Umso geringer der horizontale Abstand zwischen Kopf und Kopfstütze vor dem Unfall ist, desto eher wird der Kopf abgefangen.

Mit den hier gewonnenen Daten läßt sich der zu erwartende Zusammenhang zwischen dem horizontalen Abstand und der Verletzungsschwere zeigen: bei geringem Abstand nimmt die Verletzungsschwere ab. Dies deutet darauf hin, daß durch sachgemäße Einstellung der Kopfstütze schwerwiegendere Unfallfolgen reduziert oder sogar vermieden werden können.

Dieser Zusammenhang wurde auch bei anderen Studien [MINTON ET AL.] gefunden. Bei OBELIENIENE ET AL. waren bei den Teilnehmern, deren Kopf zum Zeitpunkt des Unfalls an der Kopfstütze anlag, unabhängig von der Höhe der Kopfstütze, keine akuten Nackenbeschwerden zu eruieren. Aufgrund dieser Daten ist den Personen, die einen Heckaufprall kommen sehen, zu raten, ihren Kopf an die Kopfstütze anzulegen.

Als maximalen Abstand fordern OLSSON ET AL. 9 cm zwischen Kopf und Kopfstütze. Nach einer Untersuchung von JEROSCH ET AL. fand sich 1997 nur bei 69,9 % der Probanden der geforderte maximale horizontale Abstand von 9 cm, „der auf keinen Fall eine Einschränkung der Kopffreiheit bedeutet, aber aus Sicherheitsaspekten noch als ausreichend zu betrachten ist“.

Gerade die Einstellung des horizontalen Abstandes ist aber oft konstruktionsbedingt ein Problem. Die Einstellung der Neigung der Kopfstütze bedingt nämlich eine Zunahme des vertikalen Abstandes zwischen Kopfstütze und Kopf. Deshalb ist „die Einstellung der Rückenlehne in den meisten Fällen die einzige Möglichkeit, den horizontalen Abstand positiv zu beeinflussen“.[JEROSCH]

Eine bessere Einstellmöglichkeit der Kopfstützen ist deshalb unbedingt zu fordern, was unter vielen anderen GEIGL ET AL. bereits 1994 erwähnten.

Bei zwei Personen ergab sich aus der Unfallsituation ein sehr großer horizontaler Abstand (28 und 35 cm). In diesen beiden Fällen ergab sich zwischen den vorgebeugten und den „normal“ im selben Auto sitzenden Personen hinsichtlich der Verletzungsschwere kein Unterschied. Wegen der geringen Fallzahl von zwei läßt sich daraus keine Schlußfolgerung ableiten.

MEYER ET AL. schreiben über diese FIP ( Forward Inclined Position), daß durch ein Abrollen des Rückens an der Lehne eine geringere biomechanische Belastung auf den Insassen wirke.

## 6.6 Vertikaler Abstand zwischen Kopf und Kopfstütze

Die Oberkante der Kopfstütze sollte nach Meinung von ADAC-Experten (ADAC-Motorwelt 1994) mindestens in gleicher Höhe wie die Oberkante des Kopfes sein. Diese Einstellung fand sich hier nur bei zwei Teilnehmern. Die meisten Probanden hatten einen zu großen vertikalen Abstand. Hier ist zusätzlich der „Ramping“-Effekt, d.h. das Heraufrutschen des Oberkörpers während des Unfalls auf der Rückenlehne des Fahrzeuges [ S.28 / MEYER ET AL.] durch eine flach eingestellte Rückenlehne, zu berücksichtigen. Dieser erhöht in der Regel beim Unfall den vertikalen Abstand zwischen Kopf und Kopfstütze im kritischen Moment.

ONO ET AL., 1993, kommen zu dem Schluß, daß der Rotationswinkel des Kopfes bei abnehmender Kopfstützenhöhe zunimmt. Andererseits nehmen bei größerer Kopfstützenhöhe die Scherkräfte, die auf den Hals wirken, zu.

Ein signifikanter Zusammenhang, der auf eine Zunahme der Schwere der posttraumatischen Beschwerden bei Zunahme des vertikalen Abstandes hindeuten würde, konnte in der vorliegenden Studie nicht gefunden werden.

Die Verstellmöglichkeiten der Kopfstützen sind gerade für große Personen fast immer konstruktionsbedingt nicht ausreichend. Mit zunehmender Körpergröße nimmt



der vertikale Kopfstützenabstand im Schnitt zu. Der zu große Abstand ist dem zufolge nicht ausschließlich auf die mangelhafte Einstellung durch den Insassen zurückzuführen.

Nach JEROSCH ET AL. ist die falsche Position der Kopfstütze sowohl auf eine falsche Einstellung durch den Insassen als auch auf eine konstruktionsbedingt eingeschränkte Einstellmöglichkeit zurückzuführen. Dies bedeutet, daß eine Verbesserung hinsichtlich der Einstellmöglichkeiten nicht zwangsläufig eine Verbesserung der Einstellung bringen wird.

Bei älteren Fahrzeugen fanden sich in der vorliegenden Studie falsch eingestellte Kopfstützen öfter als bei neueren, was auf einen größeren Verstellweg bei neueren Fahrzeugen schließen lassen könnte.

Dem entgegen stellen JEROSCH ET AL. fest, daß zwischen Fahrzeugen, die vor 1989, und Fahrzeugen, die nach 1989 gebaut wurden, sich in Bezug auf den Verstellweg kein signifikanter Unterschied finden läßt.

## 6.7 Dauer der Beschwerden

Für die Betroffenen ist die Dauer der Beschwerden ein wichtiger Aspekt ihrer Verletzung. In dem hier untersuchten Geschwindigkeitsbereich liegen die Angaben der Teilnehmer über die Dauer zwischen 0 Tagen bis zu mehreren Wochen. In den Fällen, in denen objektivierbare Symptome nachweisbar waren (QTF 2), liegt der Median der Verletzungsdauer höher als in der Gruppe mit ausschließlich subjektiven Symptomen. Daraus ergibt sich, daß die Patienten, die bereits initial stärkere Beschwerden haben, auch länger unter ihnen leiden.

Nach KRAFFT [1996, 1998] lassen sich bei ausschließlicher Betrachtung der subjektiven Symptome aus den initialen Beschwerden keine Vorhersagen über die Dauer der Beschwerden machen.

Inwieweit die Langzeitfolgen eine Arbeitsunfähigkeit bedingen, ist wegen der mangelhaften Verlaufsdokumentation und fehlenden schlüssigen Angaben in den Versicherungsakten nicht auszusagen.

Alle Probanden der vorliegenden Studie, bei denen Angaben über Entschädigungen durch die Versicherungen vorliegen, haben entsprechende Zahlungen erhalten.

Obwohl für die Höhe der Entschädigungszahlung die Einschränkung des Betroffenen hinsichtlich Arbeitsfähigkeit und Lebensqualität eine Rolle spielen sollten, findet sich

hierzu in den Versicherungsunterlagen fast nie eine Feststellung. Daraus kann man schließen, daß es für die Versicherungen offensichtlich einfacher, schneller und billiger ist, Beträge bis ca. 1500.- DM den Anspruchstellern zu bezahlen, als deren Anspruch auf Entschädigung zu prüfen.

Nach OBELIENIENE ET AL. werden in Litauen für derartige Beschwerden keine Schmerzensgelder gezahlt. Bei der Untersuchung von 210 Opfern von Auffahrunfällen in Litauen war die maximale Beschwerdedauer im HWS-Bereich 17 Tage. 53% hatten überhaupt keine Schmerzen.

Es scheint daher nicht ausgeschlossen, daß zwischen dem Auftreten von subjektiven Beschwerden nach Auffahrunfällen und der üblichen Entschädigungspraxis ein Zusammenhang besteht.

## 6.8 Einfluß der Fahrzeuggewichte

Das Risiko, stärkere Beschwerden nach einem Auffahrunfall zu bekommen, ist für Insassen kleinerer Autos größer, nur dann, wenn das gegnerische Fahrzeug schwerer ist. Es findet sich ein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem Verhältnis der Fahrzeuggewichte und der Schwere der initialen Beschwerden.

Zu dem selben Ergebnis kommen KRAFFT [1996] und EICHBERGER [1996]. Auf die langfristigen, d.h.länger als ein Jahr andauernden Beschwerden hat dieses Verhältnis aber nach KRAFFT [1998]keinen Einfluß.

Daraus ergibt sich die Forderung, daß gerade in den kleineren, preiswerten Autos Verbesserungen hinsichtlich des Insassenschutzes bei einem Auffahrunfall gemacht werden müssen, um die initialen Beschwerden nach Auffahrunfällen zu reduzieren. Dies würde, da in den meisten Fällen keine Langzeitfolgen zu erwarten sind, die Verletzungshäufigkeit reduzieren können.

## 6.9 Geschlecht

In dem untersuchten Kollektiv findet sich kein Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und der Verletzungsschwere. Bei vielen anderen epidemiologischen Studien wurde dieser Zusammenhang aber deutlich. Da sich in unserem Kollektiv fast nur Personen, die einen Arzt aufsuchten, befinden und die Möglichkeit der

Differenzierung der Beschwerden durch die Klassifizierung nach QTF nicht sehr groß ist, steht dieses Ergebnis nicht im Widerspruch mit den anderen Arbeiten.

Eine vergleichbare Studie von MINTON ET AL. [1997] arbeitete mit einem 10-stufigem Verletzungsscore. Hier wurde eine erhöhte Verletzungsschwere bei Frauen beschrieben. Andere Studien geben Verletzungshäufigkeiten an, da sich in deren Kollektiv auch die unverletzten Verunfallten befinden. Hierbei kam es bezüglich des Geschlechts der Insassen zu folgenden Ergebnissen: für die initialen Beschwerden besteht für Frauen ein erhöhtes Risiko [HELL, 1998]. Auch in Bezug auf die Langzeitfolgen ist das Risiko für Frauen um 44% erhöht, wenn initiale Beschwerden bestanden. [KRAFFT, 1998]

#### 6.10 Alter

Der Einfluß des Alters der Unfallopfer auf die Verletzungsschwere wird oft diskutiert. Das Alter der Probanden dieser Studie lag zwischen 17 und 66 Jahren, deckt also einen großen Bereich der am Verkehr teilnehmenden Personen ab. In dieser Studie zeigt sich kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Verletzungsschwere und Alter. Wie erwartet nehmen die degenerativen Veränderungen im Bereich der HWS mit zunehmenden Alter zu.

Bis jetzt ist weder für ältere Menschen noch für Personen mit degenerativen Veränderungen der HWS in epidemiologischen und experimentellen Studien ein eindeutiger Nachweis für ein erhöhtes Verletzungsrisiko geführt worden.

[MC CONNELL]

#### 6.11 Stoßerwartung

Bei einigen Auffahrunfällen wird von den Insassen berichtet, daß sie den Unfallgegner haben kommen sehen. Damit konnten sie sich auf den Unfall vorbereiten. Ob diese Erwartung des Stoßes die Unfallschwere beeinflusst, wurde untersucht. Hierbei zeigte sich eine verringerte Verletzungsschwere bei den Personen, die den Unfall haben kommen sehen.

Auch MINTON findet eine leichtere Ausprägung der Verletzung bei Personen mit Stoßerwartung, aber ohne Signifikanz.

Nach der Studie von FOUST ist der Körper nicht in der Lage, die Bewegung der HWS bei einem überraschenden Auffahrunfall durch eigene Reflexe suffizient in entsprechender Zeit zu begrenzen. Dies wird dadurch erklärt, daß die Hauptbewegung bereits abgeschlossen sei, bis der Reflex des Körpers seine Wirkung an den Muskeln zeigt.

Im Gegensatz dazu finden MAGNUSSON ET AL. in Schlittenversuchen eine Reaktionszeit der Halsmuskulatur von 65,6 ms ab Schlittenbeschleunigung. Dadurch ist es den Muskeln möglich, die Bewegung des Halses bei einem derartigen Unfall zu beeinflussen. Wenn der Unfall vorhergesehen wird, ist davon auszugehen, daß die Anspannung der Muskulatur früher erfolgt als im entgegengesetzten Fall. So kommt der willkürlichen Aktivierung der Muskulatur eine besondere Rolle zu. Durch die Anspannung der Muskulatur wird offensichtlich der Bewegungsumfang der HWS begrenzt und bei geringen Stößen schwerere Verletzungen verhindert. Auf der anderen Seite lassen sich damit aber auch die klinischen Symptome erklären, die vor allem muskulären Schäden zuzuordnen sind, wie sie bei einer Muskelzerrung auftreten. Somit ist es auch verständlich, daß sogar mit genauer apparativer Diagnostik, wie z.B. der Kernspin-Tomographie (NMR), oft keine discoligamentären Verletzungen der HWS nachgewiesen werden können. Auch die kurze Beschwerdedauer von ein paar Tagen oder wenigen Wochen läßt sich mit dieser Hypothese erklären.

Die erfolgreichen Therapievorschläge, Analgesie und schnelle Mobilisation, die die Quebec Task Force 1994 in einer Zusammenfasssung mehrerer Studien vorstellte, im Gegensatz zur Immobilisation durch die Schantz'sche Krawatte, sind vor diesem Hintergrund nachvollziehbar.

## 7 Zusammenfassung

In einer prospektiven Studie wurden Daten zur Unfallschwere und Verletzungen nach Auffahrunfällen im sogenannten Niedergeschwindigkeitsbereich erhoben. Dafür wurden 22 Unfälle mit 32 Insassen ausgewertet. Dabei standen zwei Fragen im Vordergrund: 1. Wie und welche Befunde werden in praxi von den behandelnden Ärzten erhoben? 2. In welchem Bereich der Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v$  des Fahrzeuges der Patienten liegen diese Unfälle?

Das Beschwerdebild, das u.a. als HWS-Distorsion bezeichnet wird, tritt häufig als alleinige Verletzung nach Auffahrunfällen mit geringer Geschwindigkeitsänderung auf. Bei 32 Personen, die einen derartigen Unfall erlitten und ein Krankenhaus aufgesucht hatten, wurden, mit deren schriftlichem Einverständnis, die erhobenen Befunde der behandelnden Ärzte ausgewertet und nach der Klassifikation der Quebec Task Force (QTF) eingeteilt. Die Fahrzeugschäden wurden besichtigt und photographisch dokumentiert sowie die Sitzposition während des Unfalls rekonstruiert. Dabei wurden diverse Sitzparameter, der horizontale und vertikale Abstand zwischen Kopf und Kopfstütze bestimmt. Bei der Befragung der Patienten wurden neben den Basisdaten Alter, Geschlecht, Körperlänge und Gewicht, die Beschwerden im Bereich der HWS ermittelt. Nach ca. einem halben Jahr wurden die Patienten zum Verlauf der Beschwerden und Entschädigungszahlungen befragt. In einigen Fällen wurden entsprechende Versicherungsakten eingesehen.

Die Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v$  des gestoßenen Fahrzeuges wird heute als verletzungsmechanisch relevanter Parameter bei derartigen Unfällen angesehen.

Dieser wurde nach zwei rechnerischen Verfahren aufgrund der Fahrzeugbeschädigung des gestoßenen Fahrzeuges abgeschätzt.

Die Geschwindigkeitsänderung der untersuchten Unfälle lag zwischen 6 und 17 km/h. Bereits bei niedrigen Geschwindigkeiten zwischen 6 und 9 km/h traten initiale Beschwerden auf, die die Betroffenen veranlaßten, einen Arzt aufzusuchen. Im Bereich zwischen 6 und 12 km/h kam es in zwei Fällen zu reversiblen neurologischen Defiziten. Schwerere Verletzungen, wie z.B. Frakturen oder Instabilitäten der HWS, konnten in keinem Fall radiologisch nachgewiesen werden. Trotz nicht objektivierbarer Beschwerden wurde von den untersuchenden Ärzten oft die Diagnose HWS-Distorsion gestellt.

Die wesentlichen Ergebnisse dieser Arbeit sind:

- Höhere  $\Delta v$  verursachen im Mittel schwerwiegendere Verletzungen nach QTF.
- Höhere  $\Delta v$  verursachen im Mittel eher Kopfschmerzen.
- Dem schmerzfreien Intervall ist bei der Einstufung der Verletzung nicht die Bedeutung zuzuweisen, die es in der Einteilung nach Erdmann erfährt.
- Bei zunehmenden Abständen zwischen Kopf und Kopfstütze in der Horizontalen nimmt die durchschnittliche Verletzungsschwere zu.
- In der Vertikalen findet sich kein Zusammenhang zwischen dem Abstand Kopf - Kopfstütze und der Verletzungsschwere.
- Die mittlere Dauer der Beschwerden nimmt bei schweren Verletzungen zu, überstieg aber in der Regel auch bei Verletzungen, die nach QTF 2 eingestuft wurden, 3 Wochen nicht.
- Für die hier untersuchten Verletzungen wurden von den Versicherungen Schmerzensgelder in Höhe von 200.- DM bis zu 1800.- DM gezahlt. Die Höhe hängt offensichtlich nicht mit der Verletzungsschwere nach QTF zusammen.
- Bei schwereren stoßenden Fahrzeugen und bei einem größeren Quotienten aus Gewicht des stoßenden durch das Gewicht des gestoßenen Fahrzeuges sind die Verletzungen schwerer.
- Im Unterschied zu anderen Studien zeigte sich kein Zusammenhang zwischen der Schwere der Verletzung und dem Geschlecht.
- Es findet sich kein Zusammenhang zwischen dem Alter und der Verletzungsschwere.
- Die Stoßerwartung reduziert die Verletzungsschwere, d.h. bei Personen, die auf den Unfall vorbereitet waren, weil sie den Unfallgegner im Rückspiegel haben kommen sehen, war die Verletzung im Mittel weniger stark ausgeprägt.

Daraus lässt sich zusammenfassen, daß eine geringe  $\Delta v$ , ein geringer Abstand zur Kopfstütze, ein schweres Auto, ein leichter Unfallgegner und eine Vorbereitung auf den Anprall zu einer schwächeren Ausprägung der typischen Beschwerden nach Auffahrunfällen führt.

Die Einteilung der initialen Beschwerden sollte durch ein transparentes, nachvollziehbares System erfolgen, wie es die Quebec Task Force entwickelt hat, da komplexere Einteilungen wie die von Erdmann weder den behandelnden Ärzten in ihrem vollen Umfang bekannt sind noch eine größere klinische und forensische Relevanz haben.

## 8 Literatur

Allianz-Zentrum für Technik

### **Crash-Test**

Eurotax International AG

Claussen C

### **Medizinische Begutachtung von Verkehrsunfallopfern**

32. Deutscher Verkehrsgerichtstag, 1994, 234 – 306

Brault J R, Wheeler J B, Siegmund G P, Brault E J

### **Clinical Response of Human Subjects to Rear - End Automobile Collisions**

Arch Phys Med Rehabil, 79 (1), 1998, 72 - 80

Burg H, Rau H

### **Handbuch der Verkehrsunfall-Rekonstruktion**

Verlag Information Ambs GmbH, 1981

Castro W, Lemcke H, Schilgen M, Lemcke L

### **Das sogenannte „HWS-Schleudertrauma“ -**

### **Haftungsrechtliche und medizinische Überlegungen**

Chirurg, 69 (6), 1998, 176 - 184

Deutscher Ch

### **Bewegungsablauf von Fahrzeuginsassen beim Heckaufprall.**

Eurotax International AG, Freienbach., 1994

Eichberger A, Geigl B C, Moser A, Fachbach B, Steffan H, Hell W, Langwieder K

### **Comparison of different Car seats Regarding Head - Neck Kinematics of Volunteers During Rear - End Impact**

IRCOBI Dublin, Proc., 1996, 153- 164

Erdmann H

### **Schleuderverletzung der Halswirbelsäule**

Hippokrates Verlag, Stuttgart, 1973

Foust D R, Chaffin D B, Snyder R G, Baum J K

### **Cervical Range of Motion and Dynamic Response and Strength of Cervical Muscles**

17<sup>th</sup> Stapp Car Crash Conference, Proc., 1973, 285 – 308

Fürbeth V, Großer W

### **Biomechanik 98 – Sonderfälle zum HWS-Verletzungsrisiko**

CD, Ing.-Büro Dr.Großer&Furbeth, Erlangen, 1998



Geigl B C, Steffan H, Leinzinger P, Roll, Mühlbauer M, Bauer G

**The Movement of Head and Cervical Spine during Rearend Impact.**

IRCOBI, Proc., 1994, 127 - 137

Gotten N

**Survey of one hundred cases of whiplash injury after settlement of litigation**

JAMA 162, 1956

Graf-Baumann T, Lohes-Busch H

**Weichteildistorsion der oberen Halswirbelsäule**

Anatomie, Neurophysiologie, Diagnostik, Therapie und Begutachtung

Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 1997

Großer W, Fürbeth V

**Studie zur HWS-Verletzung**

Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, 36 (3), 1998, 90- 92

Hein R

**Untersuchung zur Belastung der Kopf-Halsregion beim Heckaufprall im niedrigen Geschwindigkeitsbereich.**

Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München, 1995

Hell W, Langwieder K, Walz F

**Reported Soft Tissue Neck Injuries After Rear-End Car Collisions.**

IRCOBI Conf., Göteborg, Proc., 1998, 261 - 274

Helliwell P S, Evans P F, Wright V

**The Straight Cervical Spine: Does it Indicate Muscle Spasm?**

British journal of bone and joint surgery, 76 (1), 1994, 103 - 106

Jerosch J, RÜth S, Thorwesten L

**PKW - Kopfstützen - Einstellmöglichkeiten und deren Ausnutzung  
Ergebnisse einer Feldstudie**

Der Unfallchirurg, 100 (1), 1997, 561-567

Kaatsch H-J

**Rechtsprechung**

II Alkohol, Verkehrsmedizin

Rechtsmedizin, 10, 2000, 114 - 119

Krafft M

**A Comparison of Short- And Longterm Consequences of AIS 1 Neck Injuries, in Rear Impact.**

IRCOBI Conf., Göteborg, Proc., 1998, 235 - 248

Krafft M

**Non - fatal injuries to car occupants**

Injury assessment and analysis of impacts causing short- and longterm consequences with special reference to neck injuries  
Folksam, Stockholm, 1998

Liebsch R

**Intensivkurs: Neurologie**

Urban & Schwarzenberg, München – Wien – Baltimore, 1996

Matsushita T, Sato T B, Hirabayashi K, Fujimura S, Asazuma T, Takatori T

**X-Ray Study of the Human Neck Motion Due to Head Inertia Loading.** (SAE-Paper 942208 )

38<sup>th</sup> Stapp Car Crash Conference Proc., 1994, 55 - 64

Maxeiner H

**Aussagen behandelnder Ärzte über posttraumatische HWS - Beschwerden**

Rechtsmedizin, 8, 1998, 178 - 181

Mc Connell W E, Howard R P, Guzman H M, Bomar J B, Raddin J H, Benedict J V, Smith H L, Hatsell C P

**Analysis of Human Test Subject Kinematic Responses to Low Velocity Rear End Impacts.** (SAE-Paper 930889 )

SAE Int. Congr. And Expo., Detroit : Vehicle and Occupant Kinematics, 1993, 21 - 30

Mc Connell W E, Howard R P, Van Poppel J, Krause R, Guzman H M, Bomar J B, Raddin J H, Benedict J V, Hatsell C P

**Human Head and Neck Kinematics After Low Velocity Rear - End Impacts - Understanding „Whiplash“** (SAE-Paper 952724)

SAE Int. Congr. And Expo., Detroit, 1995, 215 - 238

Meyer S, Weber M, Schilgen M, Castro WHM

**Verletzungsmöglichkeiten der HWS nach Auffahrunfällen.**

Das HWS „Schleudertrauma“ im Blickpunkt, 1997, 1 - 43

Meyer S, Becke M, Kalthoff W, Castro W

**FIP- Forward Inclined Position**

Insassenbelastung infolge vorgebeugter Sitzposition bei leichten Heckkollisionen  
Verkehrsunfall- und Fahrzeugtechnik, 37, 1999, 213 - 218

Minton R, Murray P, Pitcher M, Galasko CSB

**Causative Factors in Whiplash Injury: Implications for Current Seat and Head Restraint Design.**

IRCOBI Conf., Hannover, Proc. 1997, 207 – 222

Moorahrend U

**Die HWS-Beschleunigungsverletzung**

G. Fischer, Stuttgart, 1993

Münker H, Langwieder K, Chen E, Hell W :

**Verletzungen der Halswirbelsäule bei PKW-Unfällen**

Versicherungsmedizin, 47 (1), 1995, 26 - 32

Nielsen G P, Gough J P, Little D M, West D H, Baker V T

**Human Subject Responses to Repeated Low Speed Impacts Using Utility Vehicles.** (SAE-Paper 970394)

SAE Int. Congr. And Expo, Detroit, Occupant Protection and Injury Assessment in the Automotive Crash Environment, 1997, 189 - 212

Obelieniene D, Schrader H, Bovim G, Miseviciene I, Sand T

**Pain after whiplash: a prospective controlled inception cohort study**

Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry, 66 (3), 1999, 279 - 283

Olsson I, Bunketorp O, Carlsson G, Gustafsson C, Planath I, Norin H, Ysander L

**An In-depth Study of Neck Injuries in Rear End Collisions**

IRCOBI Conf. Bron, Proc., 1990, 269 - 280

Ono K, Kanno M

**Influences of the Physical Parameters on the Risk to Neck Injuries in Low Impact Speed Rear - End Collisions**

IRCOBI Conf. Eindhoven, Proc., 1993, 201-212

Ono K, Kaneoka K, Wittek A, Kajzer J

**Cervical Injury Mechanism Based on the Analysis of Human Cervical Vertebral Motion and Head-Neck-Torso Kinematics During Low Speed Rear Impacts.** (SAE-Paper 973340)

41<sup>th</sup> Stapp Car Crash Conference ,Proc., 1997, 339 - 356

Ono K, Kaneoka K, Inami S

**Influence of Seat Properties on Human Cervical Motion and Head/Neck/Torso Kinematics During Rear-end Impacts.**

IRCOBI Conf., Göteborg, Proc., 1998, 303 - 318

Otte D, Pohlemann T, Blauth M

**Significance of Soft Tissue Neck Injuries AIS 1 in the Accident Scene and Deformation Characteristics of Cars with Delta-V up to 10 km/h.**

IRCOBI Conf. Hannover, Proc., 1997, 265 - 283

Otte D, Pohlemann T, Blauth M

**HWS-Distorsionen im geringen Unfallschwerebereich**

Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, 36 (1), 1998, 15 - 21

Poeck K

**Kognitive Störungen nach traumatischer Distorsion der Halswirbelsäule?**

Deutsches Ärzteblatt, 96 (41), 1999, B 2103- B 2107

Roemer F W

**Die Beschleunigungsverletzung der HWS - Metaanalyse unter besonderer Berücksichtigung der klinischen Symptomatik**

Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München, 1997

Ryan G A, Moore V M, Dolinis J, Taylor G W

**Crash Severity and Neck Strain in Car Occupants.**

IRCOBI Conf., Lyon, Proc., 1994, 97 - 107

Siegmund G P, Bailey M N, King D J

**Characteristics of Specific Automobile Bumpers in Low - Velocity Impacts ( SAE-Paper 940916)**

SAE transaction, 103 ,1994, 1266 - 1304

Siegmund G P, King D J, Lawrence J M, Wheller J B, Brault J R, Smith T A

**Head/Neck Kinematic Response of Human Subjects in Low-Speed Rear-End Collisions. (SAE-Paper 973341)**

41th Stapp Car Crash Conference, Proc., 1997, 357 - 371

Spitzer W O, Skovron M L, Salmi L R, Cassidy J D, Duranceau J, Suissa S, Zeiss E

**Scientific Monograph of the Quebec Task Force on Whiplash - Associated Disorders:**

Redefining „Whiplash“ and Its Management

Spine, 8S ,1995, 1S-73S

Sporrer A, Beier G, Prell G

**Zur Abschätzung der Geschwindigkeitsänderung beim Niedergeschwindigkeitsheckaufprall unter Berücksichtigung des Gesamtdeformationsverhaltens beider Kollisionspartner**

Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, 37 (5), 1999, 122 - 128

Stevens A, Foerster K

**Genügt für den Nachweis einer Erkrankung die Beschwerdeschilderung?**

Versicherungsmedizin, 52 (2), 2000, 76 - 80

Szabo Th J, Welcher J B, Anderson R D, Rice M M, Ward J A, Paulo L R, Carpenter N J

**Human Occupant Kinematic Response to Low Speed Rear-End Impacts.**

(SAE-Paper 940532)

SAE Int. Congr. And Expo., Detroit : Occupant Containment and Methods of  
Assessing occupant Protection in the Car Environment, 1994, 23 - 35

Temming J, Zobel R

**Frequency and Risk of cervical Spine Distorsion Injuries in Passenger car  
Accidents:**

Significance of Human Factors Data

IRCOBI Conf. Göteborg, Proc. 1998, 219 – 233

## **Anhang**

Datenblätter mit Fotos

## Fall Nr. 1

### Gestoßenes Fahrzeug

Marke	Mercedes
Modell	190
Baujahr	1985
Leergewicht [kg]	1110
Vorschaden	-
Gebremst	+
Schadensumme [DM]	k.A.

### Stoßendes Fahrzeug

Marke	Fiat
Modell	Tipo
Baujahr	1996
Leergewicht [kg]	990

$\Delta v$ -Bereich [km/h]	13 - 20
$\Delta v$ geschätzt [km/h]	17

### Insasse 1

Geschlecht	w
Alter/ Größe / Gewicht [Jahr]/[cm]/[kg]	49/ 163/ 76
Sitzposition	Fahrer
Kopfstütze/ Horizontaler Abstand/ Vertikaler Abstand [cm]	+ / 8/ 9
Lehnenneigung [Grad]	75
Vorbereitetsein	-
Schmerzfreies Intervall [h]	7,5
Einteilung QTF/ Erdmann	2/ 1
Dauer der Beschwerden [Wo]	k.A.
Schmerzensgeld [DM]	k.A.





## Fall Nr. 2

Die angegebenen Schäden passen nicht zusammen, daher wurde dieser Fall bzgl.  $\Delta v$  nicht ausgewertet

Gestoßenes Fahrzeug		Stoßendes Fahrzeug	
Marke	Audi	Marke	VW
Modell	A 6	Modell	Golf II
Baujahr	1993		GTI
Leergewicht [kg]	1400	Baujahr	ca.
Vorschaden	-	1988	
Gebremst	+	Leergewicht [kg]	928
Schadensumme [DM]	k.A.		

$\Delta v$ -Bereich [km/h]	-
$\Delta v$ geschätzt [km/h]	-

Insasse 1	
Geschlecht	m
Alter/ Größe / Gewicht [Jahr]/[cm]/[kg]	28/ 186/ 70
Sitzposition	Fahrer
Kopfstütze/ Horizontaler Abstand/ Vertikaler Abstand [cm]	+/- 11/ 12,5
Lehnenneigung [Grad]	70
Vorbereitetsein	+
Schmerzfreies Intervall [h]	-
Einteilung QTF/ Erdmann	0/ -
Dauer der Beschwerden [Wo]	-
Schmerzensgeld [DM]	-



## Fall Nr. 3

### Gestoßenes Fahrzeug

Marke	Lancia
Modell	Dedra
Baujahr	1991
Leergewicht [kg]	1100
Vorschaden	-
Gebremst	-
Schadensumme [DM]	13200

### Stoßendes Fahrzeug

Marke	Opel
Modell	Rekord
Baujahr	1985
Leergewicht [kg]	1395

$\Delta v$ -Bereich [km/h]	8 -13
$\Delta v$ geschätzt [km/h]	10

### Insasse 1

Geschlecht	m
Alter/ Größe / Gewicht [Jahr]/[cm]/[kg]	32/ 183/ 80
Sitzposition	Fahrer
Kopfstütze/ Horizontaler Abstand/ Vertikaler Abstand [cm]	+ / 11/ 14
Lehnenneigung [Grad]	77
Vorbereitetsein	-
Schmerzfreies Intervall [h]	k.A.
Einteilung QTF/ Erdmann	2/ 1
Dauer der Beschwerden	3 Wochen
Schmerzensgeld [DM]	200



## Fall Nr. 4/ 5

### Gestoßenes Fahrzeug

Marke	VW
Modell	Golf II
Baujahr	1985
Leergewicht [kg]	928
Vorschaden	Ø
Gebremst	+
Schadensumme [DM]	8100

### Stoßendes Fahrzeug

Marke	Audi
Modell	A 3
Baujahr	1997
Leergewicht [kg]	1140

$\Delta v$ -Bereich [km/h]	11 - 15
$\Delta v$ geschätzt [km/h]	13

### Insasse 1

Geschlecht	m
Alter/ Größe / Gewicht [Jahr/ cm/ kg]	21/ 180/ 65
Sitzposition	Fahrer
Kopfstütze/ Horizontaler Abstand/ Vertikaler Abstand [cm]	+ / 10/ 11
Lehnenneigung [Grad]	77
Vorbereitetsein	-
Schmerzfreies Intervall [h]	0
Einteilung QTF/ Erdmann	2/ 1
Dauer der Beschwerden	5 Tage
Schmerzensgeld [DM]	k.A.

### Insasse 2

Geschlecht	m
Alter/ Größe / Gewicht [Jahr/ cm/ kg]	20/ 185/ 78
Sitzposition	Fond
Kopfstütze/ Horizontaler Abstand/ Vertikaler Abstand [cm]	- / - / 30
Lehnenneigung [Grad]	67
Vorbereitetsein	-
Schmerzfreies Intervall [h]	0
Einteilung QTF/ Erdmann	2/ 1
Dauer der Beschwerden	21 Tage
Schmerzensgeld [DM]	k.A.



## Fall Nr. 6

### Gestoßenes Fahrzeug

Marke	Audi
Modell	80
Baujahr	1984
Leergewicht [kg]	950
Vorschaden	+
Gebremst	+
Schadensumme [DM]	7550

### Stoßendes Fahrzeug

Marke	Fiat
Modell	Uno
Baujahr	ca. 1994
Leergewicht [kg]	755

$\Delta v$ -Bereich [km/h]	8 - 13
$\Delta v$ geschätzt [km/h]	10

### Insasse 1

Geschlecht	w
Alter/ Größe / Gewicht [Jahr/ cm/ kg]	21/ 156/ 46
Sitzposition	Fahrer
Kopfstütze/ Horizontaler Abstand/ Vertikaler Abstand [cm]	+ / 14/ 13
Lehnenneigung [Grad]	50
Vorbereitetsein	+
Schmerzfreies Intervall [h]	7
Einteilung QTF/ Erdmann	2/ 1
Dauer der Beschwerden	$\frac{3}{4}$ Jahr
Schmerzensgeld [DM]	800





## Fall Nr. 7/ 8

### Gestoßenes Fahrzeug

Marke	Opel
Modell	Vectra
Baujahr	1991
Leergewicht [kg]	1090
Vorschaden	Ø
Gebremst	-
Schadensumme [DM]	17800

### Stoßendes Fahrzeug

Marke	Mercedes
Modell	C -
Klasse	
Baujahr	1996
Leergewicht [kg]	1350

$\Delta v$ -Bereich [km/h]	11 - 13
$\Delta v$ geschätzt [km/h]	11

### Insasse 1

Geschlecht	m
Alter/ Größe / Gewicht	62/ 172/ 73
Sitzposition	Fahrer
Kopfstütze/ Horizontaler Abstand/ Vertikaler Abstand	+ / 21/ 6
Lehnenneigung	65
Vorbereitetsein	-
Schmerzfreies Intervall	1
Einteilung QTF/ Erdmann	2/ 1
Dauer der Beschwerden	3 Tage
Schmerzensgeld [DM]	800

### Insasse 2

Geschlecht	w
Alter/ Größe / Gewicht	46/ 168/ 70
Sitzposition	Beifahrer
Kopfstütze/ Horizontaler Abstand/ Vertikaler Abstand	+ / 11/ 8
Lehnenneigung	60
Vorbereitetsein	-
Schmerzfreies Intervall	0
Einteilung QTF/ Erdmann	2/ 1
Dauer der Beschwerden	
Schmerzensgeld [DM]	800





## Fall Nr. 9

### Gestoßenes Fahrzeug

Marke	VW
Modell	Passat
Baujahr	1991
Leergewicht [kg]	1155
Vorschaden	Ø
Gebremst	+
Schadensumme [DM]	5500

### Stoßendes Fahrzeug

Marke	Audi
Modell	80
Baujahr	1989
Leergewicht [kg]	1020

$\Delta v$ -Bereich [km/h]	6 – 8
$\Delta v$ geschätzt [km/h]	7

### Insasse 1

Geschlecht	w
Alter/ Größe / Gewicht [Jahr / cm/ kg]	46/ 168/75
Sitzposition	Fahrer
Kopfstütze/ Horizontaler Abstand/ Vertikaler Abstand [cm]	+ / 10/ 10
Lehnenneigung [Grad]	70
Vorbereitetsein	-
Schmerzfreies Intervall [h]	0,25
Einteilung QTF/ Erdmann	2/ 1
Dauer der Beschwerden	6 Wochen
Schmerzensgeld [DM]	1800



## Fall Nr. 10/ 11

### Gestoßenes Fahrzeug

Marke	BMW
Modell	320 i
Baujahr	1996
Leergewicht [kg]	1375
Vorschaden	Ø
Gebremst	-
Schadensumme [DM]	6450

### Stoßendes Fahrzeug

Marke	Mercedes
Modell	W123
200D	
Baujahr	1984
Leergewicht [kg]	1375

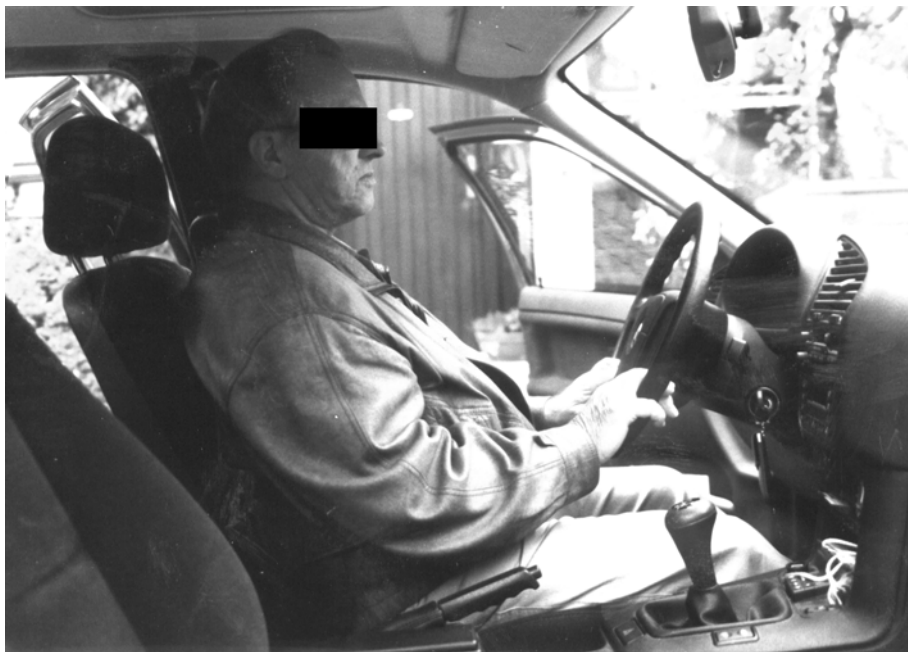
$\Delta v$ -Bereich [km/h]	6 – 8
$\Delta v$ geschätzt [km/h]	7

### Insasse 1

Geschlecht	m
Alter/ Größe / Gewicht [Jahr/ cm/ kg]	62/ 167/ 86
Sitzposition	Fahrer
Kopfstütze/ Horizontaler Abstand/ Vertikaler Abstand [cm]	+ / 12/ 9
Lehnenneigung [Grad]	70
Vorbereitetsein	+
Schmerzfreies Intervall [h]	0,5
Einteilung QTF/ Erdmann	2/ 1
Dauer der Beschwerden	21 Tage
Schmerzensgeld [DM]	600

### Insasse 2

Geschlecht	w
Alter/ Größe / Gewicht [Jahr/ cm/ kg]	22/ 160/
Sitzposition	Fahrer
Kopfstütze/ Horizontaler Abstand/ Vertikaler Abstand [cm]	+ / 12/ 9
Lehnenneigung [Grad]	70
Vorbereitetsein	+
Schmerzfreies Intervall [h]	0,5
Einteilung QTF/ Erdmann	2/ 1
Dauer der Beschwerden	21 Tage
Schmerzensgeld [DM]	600



## Fall Nr. 12

### Gestoßenes Fahrzeug

Marke	Nissan
Modell	Sunny
Baujahr	1995
Leergewicht [kg]	1115
Vorschaden	-
Gebremst	+
Schadensumme [DM]	10500

### Stoßendes Fahrzeug

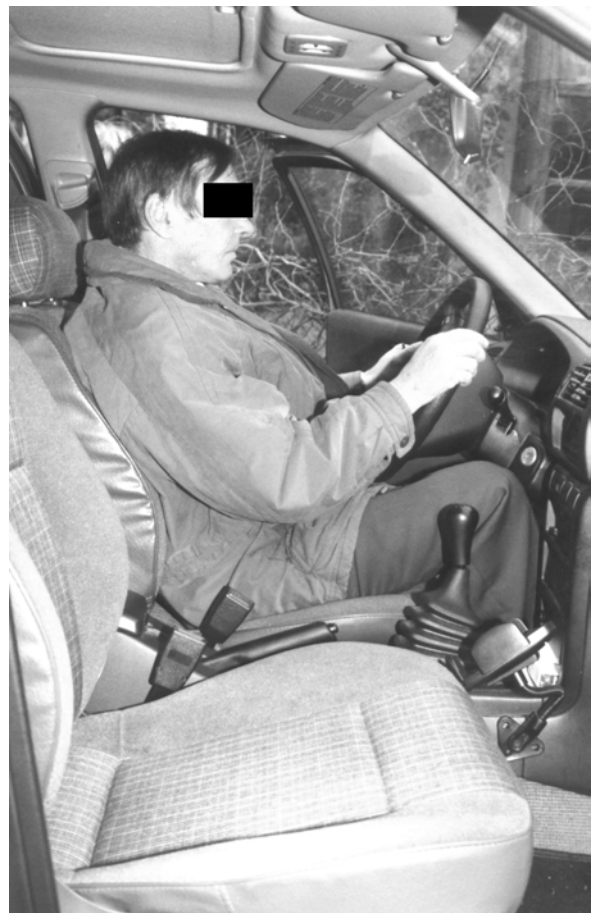
Marke	Opel
Modell	Kadett
Baujahr	1990
Leergewicht [kg]	900

$\Delta v$ -Bereich [km/h]	5 -10
$\Delta v$ geschätzt [km/h]	7

### Insasse 1

Geschlecht	m
Alter/ Größe / Gewicht [Jahr/ cm/ kg]	44/ 165/ 65
Sitzposition	Fahrer
Kopfstütze/ Horizontaler Abstand/ Vertikaler Abstand [cm]	+ / 11/ 9
Lehnenneigung [Grad]	70
Vorbereitetsein	-
Schmerzfreies Intervall [h]	14,5
Einteilung QTF/ Erdmann	2/ 1
Dauer der Beschwerden	3 Wochen
Schmerzensgeld [DM]	1300





## Fall Nr. 13

### Gestoßenes Fahrzeug

Marke	Citroen
Modell	AX
Baujahr	1991
Leergewicht [kg]	720
Vorschaden	Ø
Gebremst	-
Schadensumme [DM]	5950

### Stoßendes Fahrzeug

Marke	Opel
Modell	Vectra
Baujahr	1995
Leergewicht [kg]	1200

$\Delta v$ -Bereich [km/h]	8 - 12
$\Delta v$ geschätzt [km/h]	10

### Insasse 1

Geschlecht	w
Alter/ Größe / Gewicht [Jahr/ cm/ kg]	36/162/ 52
Sitzposition	Fahrer
Kopfstütze/ Horizontaler Abstand/ Vertikaler Abstand [cm]	+ / 11/ 10
Lehnenneigung [Grad]	55
Vorbereitetsein	+
Schmerzfreies Intervall [h]	2
Einteilung QTF/ Erdmann	2/ 1
Dauer der Beschwerden	1 Woche
Schmerzensgeld [DM]	1850



## Fall Nr. 14

### Gestoßenes Fahrzeug

Marke	Audi
Modell	A 8
Baujahr	1996
Leergewicht [kg]	1825
Vorschaden	Ø
Gebremst	+
Schadensumme [DM]	8900

### Stoßendes Fahrzeug

Marke	Toyota
Modell	RAV 4
Baujahr	1996
Leergewicht [kg]	1150

$\Delta v$ -Bereich [km/h]	9 - 12
$\Delta v$ geschätzt [km/h]	10

### Insasse 1

Geschlecht	m
Alter/ Größe / Gewicht [Jahr/ cm/ kg]	53/ 170/ 79
Sitzposition	Fahrer
Kopfstütze/ Horizontaler Abstand/ Vertikaler Abstand [cm]	+ / 10/ 6
Lehnenneigung [Grad]	
Vorbereitetsein	-
Schmerzfreies Intervall [h]	0,5
Einteilung QTF/ Erdmann	1/ 1
Dauer der Beschwerden	1 Tag
Schmerzensgeld [DM]	-



## Fall Nr. 15

### Gestoßenes Fahrzeug

Marke	VW
Modell	Golf III
Baujahr	1995
Leergewicht [kg]	1150
Vorschaden	Ø
Gebremst	+
Schadensumme [DM]	15400

### Stoßendes Fahrzeug

Marke	Rover
Modell	Range
Rover (Bullbar)	
Baujahr	1996
Leergewicht [kg]	2100

Δv-Bereich [km/h]	8 - 12
Δv geschätzt [km/h]	10

### Insasse 1

Geschlecht	m
Alter/ Größe / Gewicht [Jahr/ cm/ kg]	49/ 178/ 86
Sitzposition	Fahrer
Kopfstütze/ Horizontaler Abstand/ Vertikaler Abstand [cm]	+ / 12/ 12
Lehnenneigung [Grad]	65
Vorbereitetsein	+
Schmerzfreies Intervall [h]	0
Einteilung QTF/ Erdmann	2/ 1
Dauer der Beschwerden	7 Tage
Schmerzensgeld [DM]	1200



## Fall Nr. 16

### Gestoßenes Fahrzeug

Marke	Audi
Modell	80
Baujahr	1990
Leergewicht [kg]	1050
Vorschaden	Ø
Gebremst	–
Schadensumme [DM]	6000

### Stoßendes Fahrzeug

Marke	VW
Modell	Golf II
Baujahr	ca. 1989
Leergewicht [kg]	888

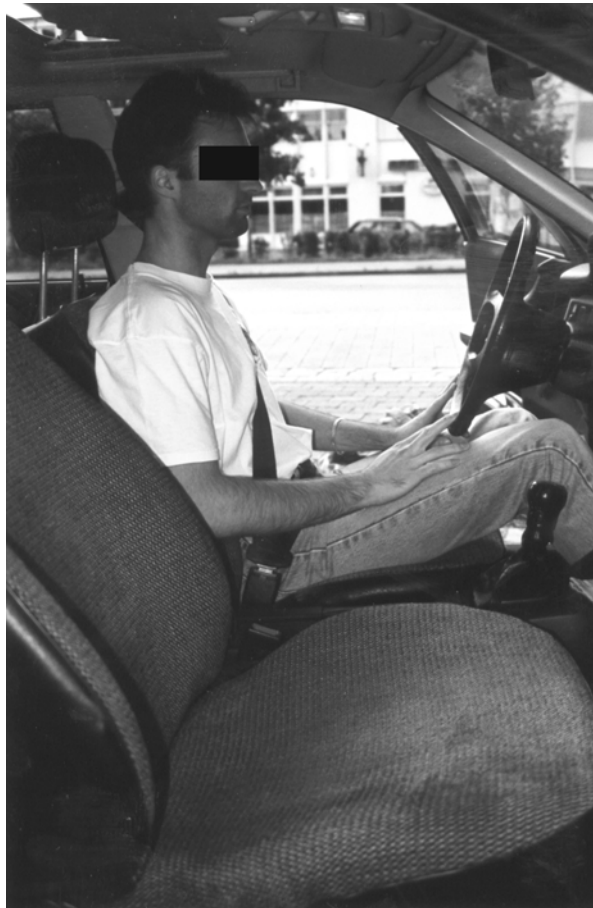
$\Delta v$ -Bereich [km/h]	6 – 9
$\Delta v$ geschätzt [km/h]	8

### Insasse 1

Geschlecht	m
Alter/ Größe / Gewicht [Jahr/ cm/ kg]	27/ 182/ 65
Sitzposition	Fahrer
Kopfstütze/ Horizontaler Abstand/ Vertikaler Abstand [cm]	+ / 9/ 6
Lehnenneigung [Grad]	70
Vorbereitetsein	-
Schmerzfrees Intervall [h]	0,25
Einteilung QTF/ Erdmann	2/ 1
Dauer der Beschwerden	7 Tage
Schmerzensgeld [DM]	800







## Fall Nr. 17

### Gestoßenes Fahrzeug

Marke	Opel
Modell	Astra
Caravan	
Baujahr	1996
Leergewicht [kg]	1065
Vorschaden	-
Gebremst	-
Schadensumme [DM]	k.A.

### Stoßendes Fahrzeug

Marke	Audi
Modell	80
Baujahr	ca. 1990
Leergewicht [kg]	1050

Δv-Bereich [km/h]	6 - 9
Δv geschätzt [km/h]	8

### Insasse 1

Geschlecht	m
Alter/ Größe / Gewicht [Jahr/ cm/ kg]	37/ 173/ 72
Sitzposition	Fahrer
Kopfstütze/ Horizontaler Abstand/ Vertikaler Abstand [cm]	+ / 4 / -1
Lehnenneigung [Grad]	71
Vorbereitetsein	+
Schmerzfreies Intervall [h]	1
Einteilung QTF/ Erdmann	1 / 1
Dauer der Beschwerden	k.A.
Schmerzensgeld [DM]	k.A.



## Fall Nr. 18/ 19/ 20

### Gestoßenes Fahrzeug

Marke	Renault
Modell	21
Nevada	
Baujahr	1989
Leergewicht [kg]	1078
Vorschaden	-
Gebremst	+
Schadensumme [DM]	k.A.

### Stoßendes Fahrzeug

Marke	Opel
Modell	Astra
Caravan	
Baujahr	1995
Leergewicht [kg]	1065

Δv-Bereich [km/h]	9 - 13
Δv geschätzt [km/h]	11

### Insasse 1

Geschlecht	w
Alter/ Größe / Gewicht [Jahr/ cm/ kg]	22/ 158/ 45
Sitzposition	Fahrer
Kopfstütze/ Horizontaler Abstand/ Vertikaler Abstand [cm]	+ / 12/ 6
Lehnenneigung [Grad]	62
Vorbereitetsein	-
Schmerzfreies Intervall [h]	0,5
Einteilung QTF/ Erdmann	3/ 2
Dauer der Beschwerden	k.A.
Schmerzensgeld [DM]	k.A.

### Insasse 2

Geschlecht	w
Alter/ Größe / Gewicht [Jahr/ cm/ kg]	17/ 171/ 69
Sitzposition	Fond
Kopfstütze/ Horizontaler Abstand/ Vertikaler Abstand [cm]	-
Lehnenneigung [Grad]	72
Vorbereitetsein	-
Schmerzfreies Intervall [h]	20
Einteilung QTF/ Erdmann	1/ -
Dauer der Beschwerden	4 Tage
Schmerzensgeld [DM]	800

## Insasse 3

Geschlecht	w
Alter/ Größe / Gewicht [Jahr/ cm/ kg]	45/ 168/ 72
Sitzposition	Beifahrer
Kopfstütze/ Horizontaler Abstand/ Vertikaler Abstand [cm]	+ / 14/ 7
Lehnenneigung [Grad]	63
Vorbereitetsein	-
Schmerzfreies Intervall [h]	5
Einteilung QTF/ Erdmann	2/ 1
Dauer der Beschwerden	6 Wochen
Schmerzensgeld [DM]	k.A.





## Fall Nr. 21

### Gestoßenes Fahrzeug

Marke	Ford
Modell	Fiesta
Baujahr	1988
Leergewicht [kg]	780
Vorschaden	-
Gebremst	+
Schadensumme [DM]	k.A.

### Stoßendes Fahrzeug

Marke	Nissan
Modell	Cargo
Baujahr	1995
Leergewicht [kg]	1500

Δv-Bereich [km/h]	8 - 13
Δv geschätzt [km/h]	11

### Insasse 1

Geschlecht	w
Alter/ Größe / Gewicht [Jahr/ cm/ kg]	21/ 177/ 70
Sitzposition	Fahrer
Kopfstütze/ Horizontaler Abstand/ Vertikaler Abstand [cm]	+ / 11/ 15
Lehnenneigung [Grad]	60
Vorbereitetsein	-
Schmerzfreies Intervall [h]	7
Einteilung QTF/ Erdmann	1/ 1
Dauer der Beschwerden	3 Wochen
Schmerzensgeld [DM]	k.A.





## Fall Nr. 22/ 23/ 24

### Gestoßenes Fahrzeug

Marke	Audi
Modell	A 6
Baujahr	1995
Leergewicht [kg]	1565
Vorschaden	-
Gebremst	+
Schadensumme [DM]	6300

### Stoßendes Fahrzeug

Marke	Audi
Modell	80
Baujahr	ca. 90
Leergewicht [kg]	1020

Δv-Bereich [km/h]	6 – 8
Δv geschätzt [km/h]	7

### Insasse 1

Geschlecht	w
Alter/ Größe / Gewicht [Jahr/ cm/ kg]	45/ 163/ 62
Sitzposition	Beifahrer
Kopfstütze/ Horizontaler Abstand/ Vertikaler Abstand [cm]	+ / 3/ 5
Lehnenneigung [Grad]	60
Vorbereitetsein	-
Schmerzfreies Intervall [h]	-
Einteilung QTF/ Erdmann	0/ -
Dauer der Beschwerden	-
Schmerzensgeld [DM]	-

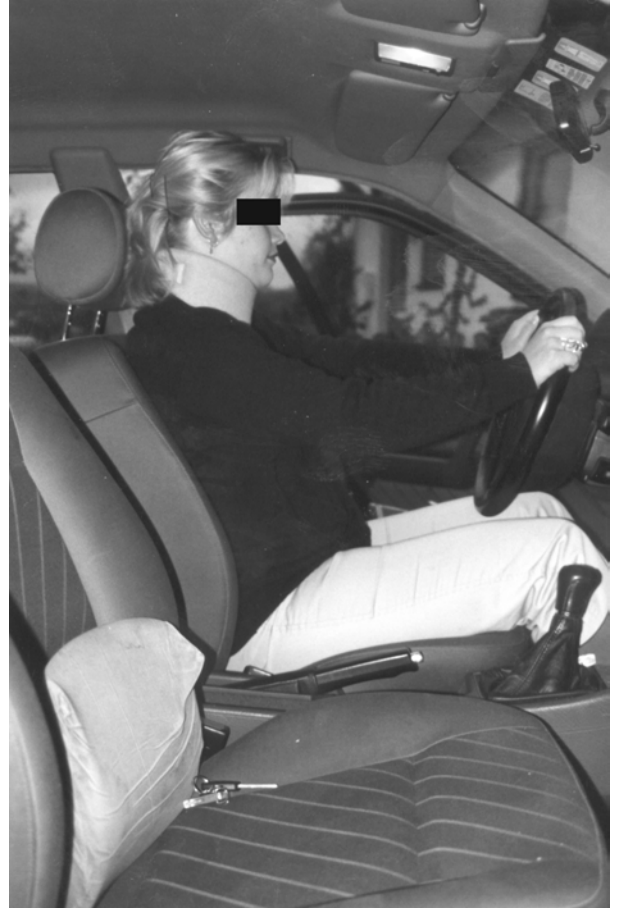
### Insasse 2

Geschlecht	w
Alter/ Größe / Gewicht [Jahr/ cm/ kg]	19/ 166/ 70
Sitzposition	Fahrer
Kopfstütze/ Horizontaler Abstand/ Vertikaler Abstand [cm]	+ / 7/ 7
Lehnenneigung [Grad]	70
Vorbereitetsein	-
Schmerzfreies Intervall [h]	0
Einteilung QTF/ Erdmann	1/ 1
Dauer der Beschwerden	6 Wochen
Schmerzensgeld [DM]	1500

## Insasse 3

Geschlecht	m
Alter/ Größe / Gewicht [Jahr/ cm/ kg]	21/ 187/ 94
Sitzposition	Fond
Kopfstütze/ Horizontaler Abstand/ Vertikaler Abstand [cm]	+ / 18/ 11
Lehnenneigung [Grad]	60
Vorbereitetsein	-
Schmerzfreies Intervall [h]	0,25
Einteilung QTF/ Erdmann	1/ 1
Dauer der Beschwerden	k.A.
Schmerzensgeld [DM]	1500





## Fall Nr. 25

### Gestoßenes Fahrzeug

Marke	Fiat
Modell	Uno
Baujahr	1992
Leergewicht [kg]	755
Vorschaden	Ø
Gebremst	-
Schadensumme [DM]	8800

### Stoßendes Fahrzeug

Marke	BMW
Modell	3 er
Baujahr	1992
Leergewicht [kg]	1315

Δv-Bereich [km/h]	10 - 14
Δv geschätzt [km/h]	13

### Insasse 1

Geschlecht	m
Alter/ Größe / Gewicht [Jahr/ cm/ kg]	57/ 176/ 68
Sitzposition	Fahrer
Kopfstütze/ Horizontaler Abstand/ Vertikaler Abstand [cm]	+ / 11/ 12
Lehnenneigung [Grad]	62
Vorbereitetsein	+
Schmerzfreies Intervall [h]	0
Einteilung QTF/ Erdmann	1/ 1
Dauer der Beschwerden	2 Monate
Schmerzensgeld [DM]	500



## Fall Nr. 26/ 27

### Gestoßenes Fahrzeug

Marke	Citroen
Modell	Saxo
Baujahr	1998
Leergewicht [kg]	880
Vorschaden	Ø
Gebremst	-
Schadensumme [DM]	12850

### Stoßendes Fahrzeug

Marke	Suzuki
Modell	Swift
Baujahr	1995
Leergewicht [kg]	1250
<b>Fehler! Keine Indexeinträge gefunden.</b>	

$\Delta v$ -Bereich [km/h]	13 - 16
$\Delta v$ geschätzt [km/h]	15

### Insasse 1

Geschlecht	w
Alter/ Größe / Gewicht [Jahr/ cm/ kg]	51/ 156/ 45
Sitzposition	Beifahrer
Kopfstütze/ Horizontaler Abstand/ Vertikaler Abstand [cm]	+ / 35/ 5
Lehnenneigung [Grad]	67
Vorbereitetsein	-
Schmerzfreies Intervall [h]	12
Einteilung QTF/ Erdmann	3/ 2
Dauer der Beschwerden	k.A.
Schmerzensgeld [DM]	k.A.

### Insasse 2

Geschlecht	w
Alter/ Größe / Gewicht [Jahr/ cm/ kg]	22/ 173/ 72
Sitzposition	Fahrer
Kopfstütze/ Horizontaler Abstand/ Vertikaler Abstand [cm]	+ / 13/ 9
Lehnenneigung [Grad]	60
Vorbereitetsein	-
Schmerzfreies Intervall [h]	0
Einteilung QTF/ Erdmann	2/ 1
Dauer der Beschwerden	4 Wochen
Schmerzensgeld [DM]	500



## Fall Nr. 28

### Gestoßenes Fahrzeug

Marke	Audi
Modell	A 4 Avant
Baujahr	1997
Leergewicht [kg]	1360
Vorschaden	-
Gebremst	+
Schadensumme [DM]	7700

### Stoßendes Fahrzeug

Marke	Opel
Modell	Astra
Baujahr	1997
Leergewicht [kg]	1065

$\Delta v$ -Bereich [km/h]	5 - 9
$\Delta v$ geschätzt [km/h]	7

### Insasse 1

Geschlecht	m
Alter/ Größe / Gewicht [Jahr/ cm/ kg]	32/ 175/ 75
Sitzposition	Fahrer
Kopfstütze/ Horizontaler Abstand/ Vertikaler Abstand [cm]	+ / 3/ 9
Lehnenneigung [Grad]	64
Vorbereitetsein	+
Schmerzfreies Intervall [h]	0
Einteilung QTF/ Erdmann	2/ 1
Dauer der Beschwerden	2 Wochen
Schmerzensgeld [DM]	k.A.







## Fall Nr. 29/30

### Gestoßenes Fahrzeug

Marke	Opel
Modell	Kadett
Caravan	
Baujahr	1991
Leergewicht [kg]	920
Vorschaden	Ø
Gebremst	-
Schadensumme [DM]	10150

### Stoßendes Fahrzeug

Marke	Ford
Modell	Transit
Baujahr	1992
Leergewicht [kg]	1440

$\Delta v$ -Bereich [km/h]	8 - 10
$\Delta v$ geschätzt [km/h]	9

### Insasse 1

Geschlecht	w
Alter/ Größe / Gewicht [Jahr/ cm/ kg]	32/ 165/ 60
Sitzposition	Fahrer
Kopfstütze/ Horizontaler Abstand/ Vertikaler Abstand [cm]	+/- 15/ -3
Lehnenneigung [Grad]	70
Vorbereitetsein	-
Schmerzfreies Intervall [h]	0
Einteilung QTF/ Erdmann	3/ 2
Dauer der Beschwerden	5 Wochen
Schmerzensgeld [DM]	1300

### Insasse 2

Geschlecht	w
Alter/ Größe / Gewicht [Jahr/ cm/ kg]	66/ 149/ 63
Sitzposition	Beifahrer
Kopfstütze/ Horizontaler Abstand/ Vertikaler Abstand [cm]	+/- 4/ -9
Lehnenneigung [Grad]	65
Vorbereitetsein	-
Schmerzfreies Intervall [h]	0
Einteilung QTF/ Erdmann	2/ 1
Dauer der Beschwerden	6 Monate
Schmerzensgeld [DM]	1000



## Fall Nr. 31/32

### Gestoßenes Fahrzeug

Marke	Rover
Modell	200 RF
Baujahr	1998
Leergewicht	1060
Vorschaden	Ø
Gebremst	+
Schadensumme [DM]	4700

### Stoßendes Fahrzeug

Marke	VW
Modell	Golf
Baujahr	ca. 1989
Leergewicht [kg]	888

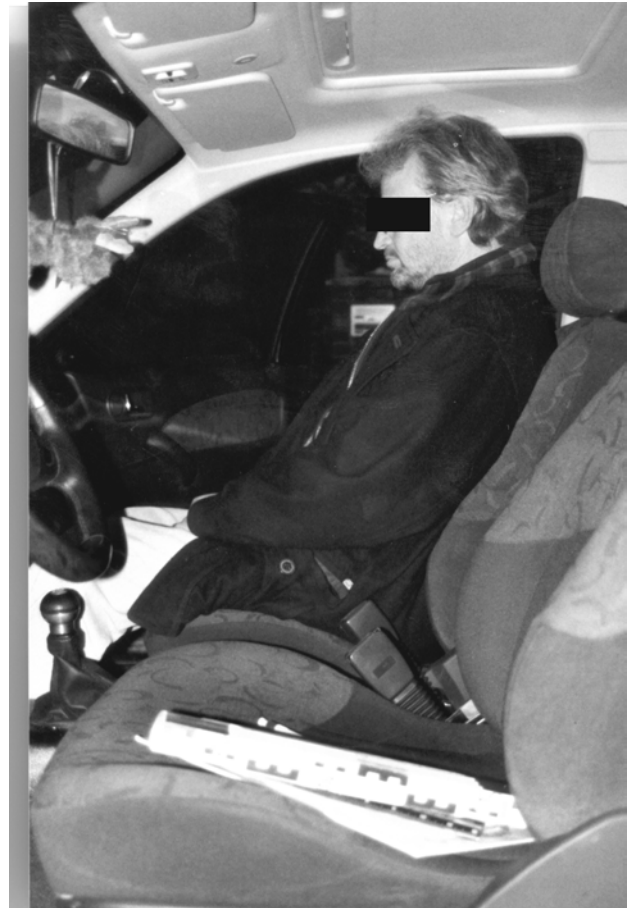
Δv-Bereich [km/h]	5 – 8
Δv geschätzt [km/h]	6

### Insasse 1

Geschlecht	w
Alter/ Größe / Gewicht [Jahr/ cm/ kg]	44/ 154/ 65
Sitzposition	Fahrer
Kopfstütze/ Horizontaler Abstand/ Vertikaler Abstand [cm]	+ / 28/ 5
Lehnenneigung [Grad]	62
Vorbereitetsein	-
Schmerzfreies Intervall [h]	0
Einteilung QTF/ Erdmann	2/ 1
Dauer der Beschwerden	7 Tage
Schmerzensgeld [DM]	k.A.

### Insasse 2

Geschlecht	m
Alter/ Größe / Gewicht [Jahr/ cm/ kg]	51/ 175/ 72
Sitzposition	Beifahrer
Kopfstütze/ Horizontaler Abstand/ Vertikaler Abstand [cm]	+ / 14/ 10
Lehnenneigung [Grad]	62
Vorbereitetsein	-
Schmerzfreies Intervall [h]	18 h
Einteilung QTF/ Erdmann	2/ 2
Dauer der Beschwerden	14 Tage
Schmerzensgeld [DM]	k.A.



## Danksagung

Die folgende Arbeit wurde von Mai 1997 bis Oktober 2000 am Institut für Rechtsmedizin der Universität München angefertigt.

Nach Fertigstellung der vorliegenden Dissertation möchte ich allen danken, die das Zustandekommen der Arbeit ermöglichten.

Für die Möglichkeit der Bearbeitung dieses Promotionsthemas am Institut für Rechtsmedizin danke ich dem Institutsdirektor, Herrn Professor Dr. W. Eisenmenger. Herrn Professor Dr. G. Beier möchte ich herzlich für die Überlassung des Themas, die stets freundliche Betreuung und die korrektive Unterstützung bei der Ausarbeitung danken.

Herr Dr. rer. biol. hum. A. Sporrer war mir bei der Datenaufnahme eine große Hilfe. Dafür und für seine stets freundliche Beratung in technischen Fragen, sowie die Überlassung der Vermessungsinstrumente möchte ich mir hier bedanken.

Herrn Professor Dr. Richter-Turtur und den Mitarbeitern der chirurgischen Abteilung des Kreiskrankenhauses Wolfratshausen danke ich für die Rekrutierung der teilnehmenden Patienten und die Überlassung der Patientendaten.

Ebenfalls für die Rekrutierung von Patienten und die Überlassung der Patientendaten möchte ich den Ärzten der chirurgischen Abteilung des Städtischen Krankenhauses München-Bogenhausen danken. Im Speziellen gilt dieser Dank

Herrn PD Dr. G. Metak für seine engagierte Unterstützung meiner Arbeit.

Bei Herrn Professor Dr. K. Langwieder, Dr. Hell und den Mitarbeitern des GDV in München möchte ich mich an dieser Stelle für die Beschaffung der Versicherungsunterlagen und die Überlassung ihrer technischen Ausrüstung ganz herzlich bedanken.

Herrn Dr. rer. biol. hum. J. Buck danke ich für die, in Zusammenarbeit mit Herrn S. Eberle, durchgeführten Berechnungen und seine Beratung bei technischen Fragen. Mein Dank gilt Herrn Dr. Tropschuh und Herrn Dipl. Ing. Schollinski der Firma AUDI für die freundliche unkomplizierte Hilfe.

Bei den an dieser Studie teilnehmenden Personen möchte ich mich herzlich bedanken. Ohne ihre Bereitschaft, in die Studie aufgenommen zu werden, wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Mein besonderer Dank gilt meinen Eltern für die Finanzierung dieser Arbeit.

Herrn Hannsjörg Neuerer danke ich für die Korrekturen und die Herstellung wichtiger Kontakte.

## Lebenslauf

### Alexander von Meyer

Geburtstag und -ort: 21.07.1973

München

Familienstand: ledig

Nationalität: deutsch

#### Schulbildung:

09.1980 - 07.1984 Grundschule an der Kerschensteinerstraße  
Germering

09.1984 - 06.1993 Carl-Spitzweg-Gymnasium  
Germering

01.06.1993 Abitur

#### Zivildienst:

09.1993 - 11.1994 OP-Pflegehelfer in der Chirurgie  
Krankenhaus München-Bogenhausen

#### Berufsausbildung:

11.1994 - 07.1996 Vorklinisches Studium / Technische Universität München

11.1996 - 05.2001 Klinisches Studium / Technische Universität München

04.2000 - 04.2001 Praktisches Jahr

Krankenhaus München-Bogenhausen (Chirurgie)

Krankenhaus München-Bogenhausen (Innere Medizin)

Klinikum Rechts der Isar (Pathologie)

UNMC Omaha/ USA (Pathologie)

05.2001 Dritter Abschnitt der ärztlichen Prüfung

ab 09.2001 AIP im Pathologischen Institut der LMU München